



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

TRABAJO FIN DE GRADO

TFG. Nº: 770G01A64

**TÍTULO: DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE.
PROPUESTA E IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y
MEJORAS ESTRUCTURALES.**

AUTOR: DAVID ARMADA PITA

TUTORES: JUAN DE DIOS RODRÍGUEZ GARCÍA

ANTONIO COUCE CASANOVA

FECHA: JUNIO DE 2015

Fdo.: EL AUTOR

Fdo.: EL TUTOR

**TÍTULO: DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE.
PROPUESTA E IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y
MEJORAS ESTRUCTURALES.**

INDICE GENERAL

**PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N
15405 - FERROL**

FECHA: JUNIO DE 2015

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: DAVID ARMADA PITA

1 ÍNDICE GENERAL

1.1 Índice de contenidos

	Páginas
1 ÍNDICE GENERAL	3
1.1 Índice de contenidos	3
1.2 Índice de ilustraciones	7
1.3 Índice de tablas	11
1.4 Índice de ecuaciones	12
2 MEMORIA	16
2.1 Objeto	16
2.2 Alcance	16
2.3 Antecedentes	16
2.4 Normas y referencias	23
2.4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas	23
2.4.2 Referencias	25
2.4.3 Software utilizado	26
2.5 Definiciones y abreviaturas	27
2.6 Requisitos de diseño	29

2.7	Análisis de las soluciones	30
2.7.1	Estructura	30
2.7.1.1	Estructura de soporte:.....	30
2.7.1.2	Base:.....	34
2.7.2	Mecánica	35
2.7.2.1	Guías lineales:	35
2.7.2.2	Motores:	36
2.7.2.3	Poleas dentadas y husillos:.....	37
2.7.2.4	Extrusor:.....	38
2.7.3	Electrónica.....	40
2.8	Resultados finales	43
2.8.1	Dimensiones finales	43
2.8.2	Espacio térmico de trabajo	44
2.8.3	Resumen de características finales.....	50
2.9	Orden de prioridad entre los documentos básicos	51
3	ANEXOS	54
3.1	Documentación de partida	54
3.1.1	Anteproyecto	54
3.2	Manual de montaje y uso	56

3.2.1	Montaje estructural y mecánico	57
3.2.2	Montaje eléctrico y electrónico	70
3.2.3	Imágenes reales del montaje	77
3.2.4	Ajuste final y determinación del error	86
3.2.4.1	Ajuste del firmware	86
3.2.4.2	Ajuste mecánico.....	90
3.2.4.3	Ajuste eléctrico.....	92
3.2.5	Configuración del firmware	96
3.2.6	Manual de uso	103
3.2.6.1	Solución de problemas	112
3.2.7	Piezas de calibración impresas	114
3.3	Hojas de características	118
4	PLANOS.....	120
5	PLIEGO DE CONDICIONES.....	148
5.1	Condiciones operativas del sistema.....	148
5.2	Condiciones del hardware.....	148
5.3	Condiciones del software	148
5.4	Condiciones de la garantía.....	149
5.5	Seguridad durante el montaje y el uso.....	149

5.6	Mantenimiento y consejos de uso	150
6	ESTADO DE MEDICIONES	154
6.1	Materiales.....	154
6.1.1	Estructura y mecánica	154
6.1.2	Electrónica.....	160
6.1.3	Fungibles.....	163
6.1.4	Piezas impresas	164
6.2	Mano de obra	169
7	PRESUPUESTO	172
7.1	Materiales.....	172
7.1.1	Estructura y mecánica	172
7.1.2	Electrónica.....	174
7.1.3	Fungibles.....	175
7.1.4	Total Material.....	175
7.2	Mano de obra	176
7.3	Total	177

1.2 Índice de ilustraciones

Ilustración 2.3.1.1 - Estereolitografía [2].....	18
Ilustración 2.3.1.2 - Impresión SLS [2]	19
Ilustración 2.3.1.3 - Impresión por inyección (Izq.) Impresión FDM (Dcha.) [4].....	20
Ilustración 2.3.1.4 - Evolución de la Impresión 3D	21
Ilustración 2.3.1.5 - Impresora 3D Joseph DeSimone	22
Ilustración 2.7.1.1 - Izq. P3Steel. Dcha. PrusaAir (www.reprap.org).....	30
Ilustración 2.7.1.2 - Impresora 3D de estructura cerrada	31
Ilustración 2.7.1.3 - Impresora 3D de estructura tipo pórtico.....	31
Ilustración 2.7.1.4 - Perfil de aluminio elegido.....	33
Ilustración 2.7.2.1 - Guías lineales	36
Ilustración 2.7.2.2 - Motor paso a paso	36
Ilustración 2.7.2.3 - Poleas dentadas	37
Ilustración 2.7.2.4 - Husillo trapezoidal	37
Ilustración 2.7.2.5 - Partes extrusor	38
Ilustración 2.7.2.6 - Extrusor elegido.....	39
Ilustración 2.7.3.1 - Control de temperatura Marlin vs Sprinter	41
Ilustración 2.8.1.1 - Resultado final	43
Ilustración 2.8.2.1 - Espacio térmico de trabajo	44

Ilustración 2.8.2.2 - Imagen térmica del extrusor	45
Ilustración 2.8.2.3 - Imagen térmica del extrusor imprimiendo	46
Ilustración 2.8.2.4 - Imagen térmica del extrusor imprimiendo 2	47
Ilustración 2.8.2.5 - Imagen térmica de la cama caliente	48
Ilustración 2.8.2.6 - Imagen térmica de la electrónica	49
Ilustración 2.8.3.1 - Características finales de la impresora	50
Ilustración 3.2.2.1 - Electrónica de control	70
Ilustración 3.2.2.2 - LCD Smart Controller	71
Ilustración 3.2.2.3 - Conexión general Ramps 1.4	72
Ilustración 3.2.3.1 - Tee nut + Tornillo en la unión	77
Ilustración 3.2.3.2 - Montaje inicial de la estructura	77
Ilustración 3.2.3.3 - Anclaje del Arduino y la fuente de alimentación	78
Ilustración 3.2.3.4 - Detalle motor del eje X	78
Ilustración 3.2.3.5 - Eje Y ensamblado.....	79
Ilustración 3.2.3.6 - Detalle polea eje Y.....	79
Ilustración 3.2.3.7 - Detalle tornillos sujeción extrusor	80
Ilustración 3.2.3.8 - Eje X e Y	80
Ilustración 3.2.3.9 - Detalle bloque de alimentación.....	81
Ilustración 3.2.3.10 - Detalle final de carrera Z MAX.....	82

Ilustración 3.2.3.11 - Detalle nivelado inicial	83
Ilustración 3.2.3.12 - Sexto cubo de calibración, el bueno	83
Ilustración 3.2.3.13 - Detalle bobina, extrusor y cableado.....	84
Ilustración 3.2.3.14 - Resultado final	85
Ilustración 3.2.4.1 - Parámetros de movimiento del firmware	86
Ilustración 3.2.4.2 - Medir corriente en los drivers de los motores	92
Ilustración 3.2.4.3 - Esquema driver A4988	93
Ilustración 3.2.4.4 - Esquema driver DRV8825	94
Ilustración 3.2.5.1 - Abrir Marlin para su edición.	96
Ilustración 3.2.5.2 - Configuration.h	97
Ilustración 3.2.5.3 - Árbol de menú LDC Marlin.....	98
Ilustración 3.2.5.4 - Configurar Placa, Procesador y Puerto (Arduino).....	102
Ilustración 3.2.5.5 - Carga del firmware	102
Ilustración 3.2.6.1 - Repetier Host, inicio.....	104
Ilustración 3.2.6.2 - Repetier Host, abrir .stl	105
Ilustración 3.2.6.3 - Repetier Host, laminado	105
Ilustración 3.2.6.4 - Repetier Host, tiempos de impresión.....	106
Ilustración 3.2.6.5 - Repetier Host, Gcode	107
Ilustración 3.2.6.6 - Repetier Host, control manual	107

Ilustración 3.2.6.7 - LCD, pantalla inicial	108
Ilustración 3.2.6.8 - LCD, menú.....	108
Ilustración 3.2.6.9 - LCD, menú preparar	109
Ilustración 3.2.6.10 - LCD, magnitud del movimiento.....	109
Ilustración 3.2.6.11 - LCD, eje a mover	110
Ilustración 3.2.6.12 - LCD, introducir SD.....	110
Ilustración 3.2.6.13 - LCD, tarjeta colocada	111
Ilustración 3.2.6.14 - LCD, tarjeta retirada	111
Ilustración 3.2.6.15 - LCD, acceso a los archivos de la SD.....	111
Ilustración 3.2.7.1 - Piezas de calibración	114
Ilustración 3.2.7.2 - Detalle plástico en contacto con la base.....	114
Ilustración 3.2.7.3 - Ejes 5x5x2,5	115
Ilustración 3.2.7.4 - Ejes 10x10x5	116
Ilustración 3.2.7.5 - Muros y huecos	117

1.3 Índice de tablas

Tabla 2.3.1.1 – Tecnologías de impresión en 3D.....	17
Tabla 2.7.1.1 - Ventajas e inconvenientes de las estructuras estudiadas.....	32
Tabla 2.7.1.2 - Sistemas de calefactado de la base.....	35
Tabla 2.7.3.1 - Comparativa placas de control estudiadas	40
Tabla 3.2.1.1 - Montaje estructural y mecánico.....	69
Tabla 3.2.2.1 - Montaje de la Electrónica.....	76
Tabla 3.2.4.1 - Ajuste cama caliente	91
Tabla 3.2.4.2 - Rangos de tensión drivers	95
Tabla 3.2.5.1 - Configuración del firmware	101
Tabla 3.2.6.1 - Solución de problemas.....	113

1.4 Índice de ecuaciones

Ecuación 3.2.4.1 - Desplazamiento lineal por vuelta eje X e Y	87
Ecuación 3.2.4.2 - Resolución eje X e Y	87
Ecuación 3.2.4.3 - Pasos para un milímetro eje X e Y	87
Ecuación 3.2.4.4 - Resolución eje Z.....	88
Ecuación 3.2.4.5 - Pasos para un milímetro eje Z.....	88
Ecuación 3.2.4.6 - Perímetro polea extrusor	88
Ecuación 3.2.4.7 - Resolución extrusor.....	89
Ecuación 3.2.4.8 - Pasos para un milímetro extrusor.....	89
Ecuación 3.2.4.9 - Calculo corriente máxima A4988.....	93
Ecuación 3.2.4.10 - Calculo corriente máxima DRV8825	94

**TÍTULO: DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE.
PROPUESTA E IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y
MEJORAS ESTRUCTURALES.**

MEMORIA

**PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N
15405 - FERROL**

FECHA: JUNIO DE 2015

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: DAVID ARMADA PITA

INDICE MEMORIA

	Páginas
2 MEMORIA	16
2.1 Objeto.....	16
2.2 Alcance	16
2.3 Antecedentes	16
2.4 Normas y referencias	23
2.4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas	23
2.4.2 Referencias	25
2.4.3 Software utilizado	26
2.5 Definiciones y abreviaturas	27
2.6 Requisitos de diseño	29
2.7 Análisis de las soluciones	30
2.7.1 Estructura	30
2.7.2 Mecánica	35
2.7.3 Electrónica.....	40
2.8 Resultados finales	43
2.8.1 Dimensiones finales	43
2.8.2 Espacio térmico de trabajo	44

2.8.3	Resumen de características finales.....	50
2.9	Orden de prioridad entre los documentos básicos	51

2 MEMORIA

2.1 Objeto

El presente proyecto tiene por objeto el diseño e implementación de una impresora 3D de tipo FDM (fused deposition modeling, modelado por deposición fundida), con hardware de bajo coste y software de licencia libre.

2.2 Alcance

En el diseño de la impresora 3D se detallara su montaje paso a paso, tanto estructural como mecánico y eléctrico, así como su configuración software y hardware, calibración y puesta en funcionamiento.

Se estudiarán las distintas posibilidades en cuanto a electrónica de control y estructura se refiere y se analizarán los problemas típicos de la impresión 3D.

Por otro lado se harán distintas pruebas de impresión para determinar el error y corregirlo en lo posible, consiguiendo el mayor acuerdo entre calidad y velocidad de impresión.

2.3 Antecedentes

Este trabajo se centra en el diseño de una impresora 3D, las impresoras 3D tienen como misión fabricar un objeto sólido tridimensional de prácticamente cualquier forma a partir de un modelo digital.

Los campos de aplicación para la impresión 3D son variados y cada vez más numerosos. Desde medicina hasta arquitectura, pasando por ingeniería, moda o educación.

Los distintos tipos de impresión en tres dimensiones son los siguientes:

TIPO	TECNOLOGÍA	MATERIALES
Extrusión	Modelado por deposición fundida (FDM)	Termoplásticos (abs, pla, nylon,...)
Granular	Sinterizado laser directo de metal (LDM)	Aleaciones de metales
	Fusión por haz de electrones (EBM)	Aleaciones de titanio
	Sinterización selectiva por calor (SHS)	Termoplástico en polvo
	Sinterización selectiva por láser (SLS)	Termoplásticos, metales en polvo, polvos cerámicos
	impresión 3D con cabezal de inyección de tinta sobre lecho en polvo	Yeso
Laminado	Fabricación objeto laminado (LOM)	Papel, hoja metálica, película de plástico
Foto-polimerizado	Estereolitografía (SLA)	fotopolímero
	Procesamiento digital de luz (DLP)	resina líquida

Tabla 2.3.1.1 - Tecnologías de impresión en 3D

Las tecnologías más utilizadas actualmente se describen a continuación.

- **Estereolitografía:** Primer método desarrollado. Consiste en la aplicación de un láser ultravioleta a una resina sensible a la luz contenida en un cubo. El láser solidifica la resina en capas hasta que el objeto adquiere la forma deseada [1].

La base puede estar sumergida en el líquido o sobre él, solo la última capa impresa es necesario que este en contacto con el líquido.

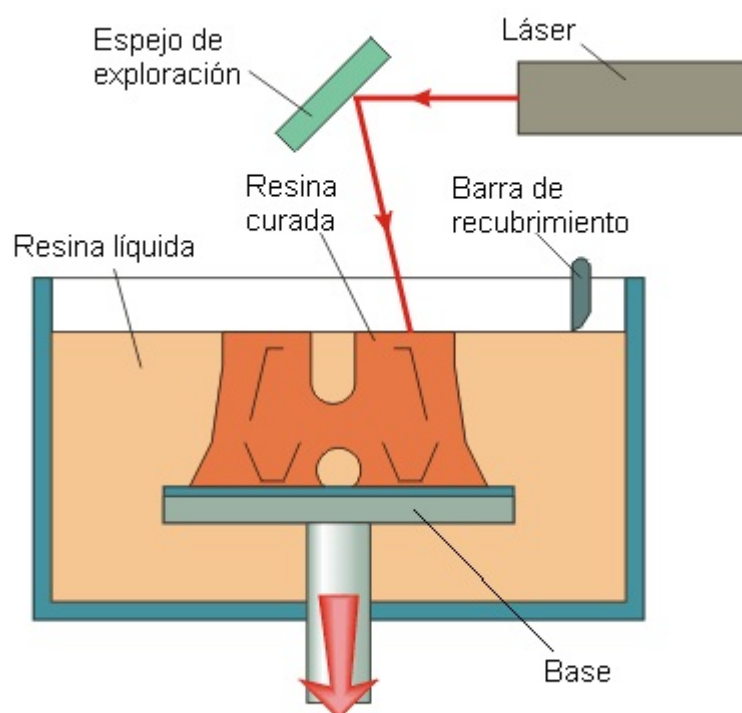


Ilustración 2.3.1.1 - Estereolitografía [2]

- **Impresión por láser:** Conocido por su nombre en inglés (selective laser sintering o SLS), este método consiste en la compactación del material con el que se quiere construir el objeto, material que se encontrará pulverizado a una temperatura próxima a la fundición y que se fundirá a través de la aplicación de un láser [3].

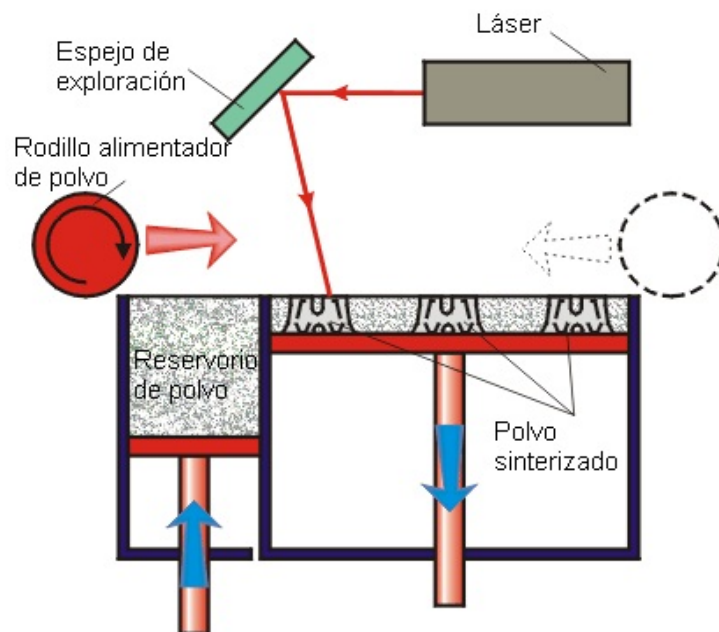


Ilustración 2.3.1.2 - Impresión SLS [2]

- **Impresión por inyección:** Muy similar a la tecnología de impresión por láser, su diferencia está en que, en lugar de emplear un láser, el material, que estará en las mismas condiciones que en la tecnología por SLS, es decir, en polvo y a una temperatura cercana a la fundición, se compactará mediante inyección de un aglomerante (tinta). Esta tecnología permite imprimir en color, ya que el aglomerante utilizado puede tener un color u otro.

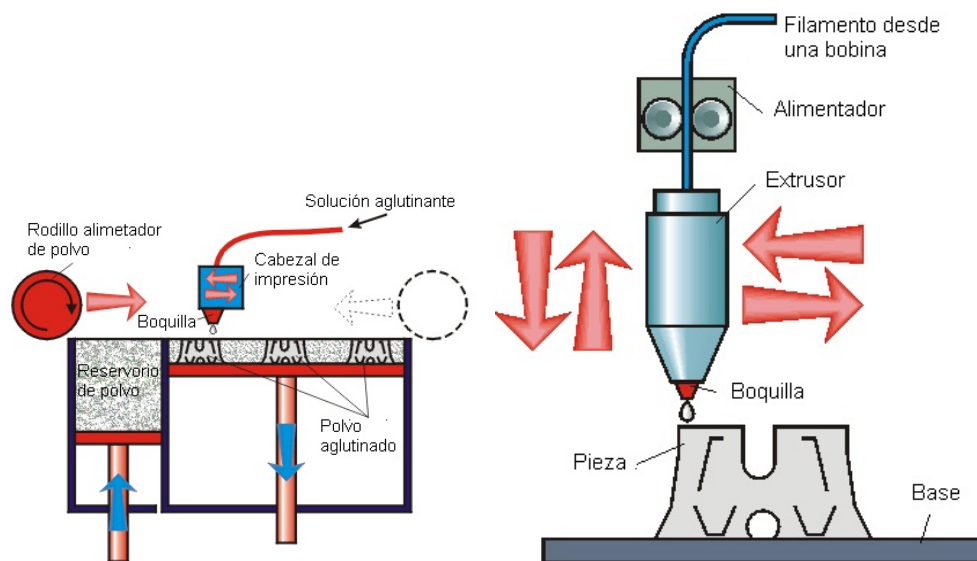
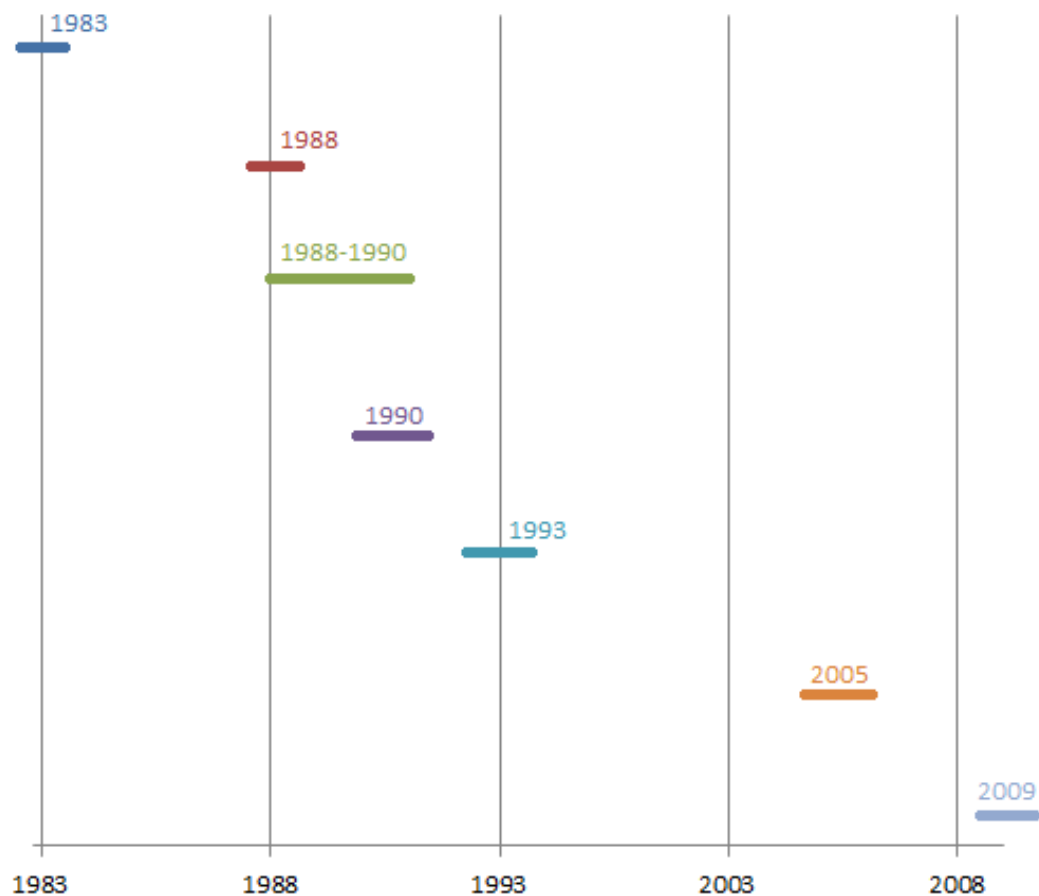


Ilustración 2.3.1.3 - Impresión por inyección (Izq.) Impresión FDM (Dcha.) [4]

- **Impresión por deposición de material fundido (FDM):** Este método consiste en la expulsión por parte de la máquina de un material fundido sobre un espacio plano. El material deberá ser expelido en hilos minúsculos para poder solidificarse nada más caer a la superficie. El extrusor se irá moviendo para que el material sólido vaya tomando la forma de cada capa. Este método es el utilizado en el presente trabajo de fin de grado.

Aunque las primeras máquinas de control numérico datan entre los años 40 y 50, las primeras impresoras 3D comerciales surgieron en la década de los 90.

En el siguiente grafico podemos ver la evolución de la impresión 3D a lo largo del tiempo [5].



- Chuck Hull, un inventor destacado en el campo de la óptica iónica, idea el primer método de impresión 3D: la estereolitografía.
- La compañía 3D Systems, fundada por Chuck Hull, comercializa las primeras máquinas de impresión estereolitográficas.
- Se desarrollan nuevos métodos de impresión:
 - la impresión por deposición de material fundido (fused deposition modelling o FDM).
 - la impresión por láser (selective laser sintering o SLS).
- Scott Crum, que había concebido el método de impresión FDM, establece la empresa Stratasys para la comercialización de su invento.
- Un grupo de estudiantes del MIT concibe la impresión 3D por inyección. Dos años más tarde, en 1995, inician la venta de los primeros equipos basados en esta tecnología a través de la compañía 3D Systems, creada en 1988 por Chuck Hull.
- El Dr Bowyer, de la Universidad de Bath, Reino Unido, desarrolla la primera máquina 3D autorreplicante: la RepRap, que supone un salto adelante en la normalización y acceso a las impresoras tridimensionales.
- La empresa Organovo ingenia la impresora 3D MMX Bioprinter, la primera capaz de fabricar tejidos orgánicos.

Ilustración 2.3.1.4 - Evolución de la Impresión 3D

Los objetos fabricados con estas tecnologías pueden utilizarse en cualquier etapa del ciclo vital del objeto, hoy en día son usadas en joyería, zapatería, diseño industrial, arquitectura, ingeniería y construcción, industria automotriz, aeroespacial, dental y médica, educación, y para otras muchas aplicaciones profesionales. Varios procesos de impresión 3D se inventaron desde finales de los años 70, pero las impresoras eran originalmente grandes, caras y muy limitadas en lo que podían producir. La tecnología de impresión 3D más común era la de Modelado por Deposición Fundida (FDM) que fue inventada y patentada en 1989 por S. Scott Crump, como se ha mencionado, y comercializada por la compañía que cofundó, Stratasys3 (<http://www.stratasys.com>). Esta se unió con una empresa líder, Objet, y se convirtieron en la mayor fábrica de impresoras 3D y de materiales para impresión 3D que existe hoy en día.

Actualmente, Joseph DeSimone profesor de química de la universidad de Carolina del Norte ha ideado una máquina para la impresión 3d por el método de la estereolitografía capaz de reducir el tiempo de impresión entre 25 y 100 veces, con unos acabados perfectos aunque con una superficie de impresión reducida [6].

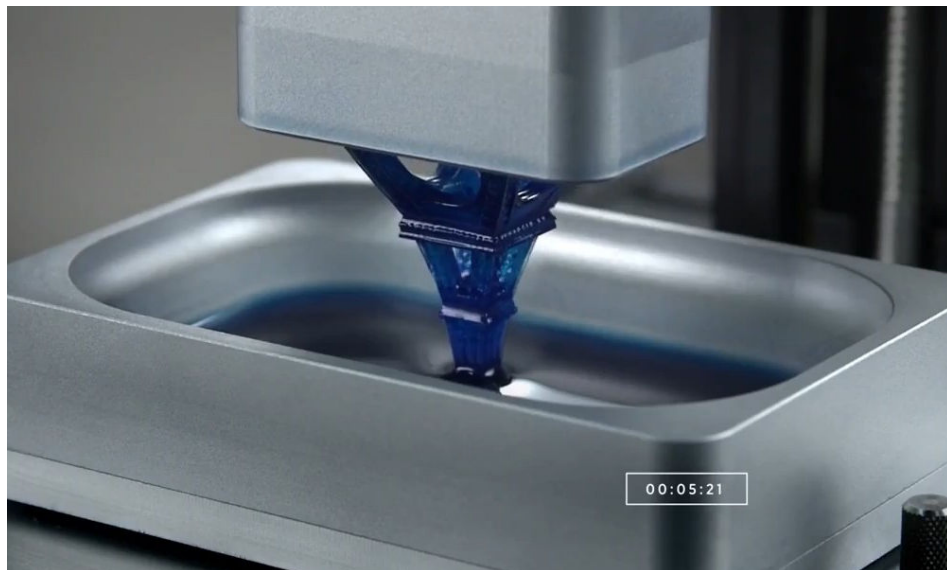


Ilustración 2.3.1.5 - Impresora 3D Joseph DeSimone

2.4 Normas y referencias

2.4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas

Para la elaboración de los planos y la documentación técnica en cuanto a principios generales de representación, cuadros de rotulación, indicaciones, escritura, rotulación, acotación, símbolos gráficos, plegado, listas de elementos gráficos y gestión de la información técnica asistida por ordenador, constituyentes de este proyecto, se ha tenido en cuenta el conjunto de normativa que se cita a continuación:

UNE 1027. Dibujo Técnico. Plegado de planos.

UNE 1032. Dibujos Técnicos. Principios generales de representación.

UNE EN ISO 7200. Documentación técnica de productos. Campos de datos en bloques de títulos y en cabeceras de documentos.

UNE 1039. Dibujos Técnicos. Acotación. Principios generales, definiciones, métodos de ejecución e indicaciones especiales.

UNE-EN 80416-1:2011. Principios básicos para los símbolos gráficos utilizables en los equipos. Parte 1: Creación de símbolos gráficos para registro.

UNE-EN 80416-2:2003. Principios básicos para los símbolos gráficos utilizables en los equipos. Parte 2: Formas y utilización de las flechas. (ISO 80416-2:2001)

UNE-EN 80416-3:2003. Principios básicos para los símbolos gráficos utilizables en los equipos. Parte 3: Guía para la aplicación de los símbolos gráficos.

UNE 1135. Dibujos Técnicos. Lista de elementos.

UNE 1166-1. Documentación técnica de productos. Vocabulario. Parte 1: Términos relativos a los dibujos técnicos: generalidades y tipos de dibujo.

UNE-EN-ISO 3098-0. Documentación técnica de productos. Escritura. Requisitos generales. (ISO 3098-0:1997).

UNE-EN-ISO 3098-2. Documentación técnica de productos. Escritura. Parte 2: Alfabeto latino, números y signos. (ISO 3098-2:2000).

UNE-EN-ISO 3098-3. Documentación técnica de producto. Escritura. Parte 3: Alfabeto griego. (ISO 3098-3:2000).

UNE-EN-ISO 3098-4. Documentación técnica de producto. Escritura. Parte 4: Signos diacríticos y particulares del alfabeto latino. (ISO 3098-4:2000).

UNE-EN-ISO 3098-5. Documentación técnica de productos. Escritura. Parte 5: Escritura en diseño asistido por ordenador (DAO), del alfabeto latino, las cifras y los signos. (ISO 3098-5:1997).

UNE-EN-ISO 3098-6. Documentación técnica de producto. Escritura. Parte 6: Alfabeto cirílico. (ISO 3098-6:2000).

UNE-EN-ISO 5455. Dibujos Técnicos. Escalas. (ISO 5455:1979).

UNE-EN-ISO 5456-1. Dibujos Técnicos. Métodos de Proyección. Parte 1: Sinopsis. (ISO 5456-1:1996).

UNE-EN-ISO 5456-2. Dibujos técnicos. Métodos de proyección. Parte 2: Representaciones ortográficas. (ISO 5456-2:1996).

UNE-EN-ISO 5456-3. Dibujos técnicos. Métodos de proyección. Parte 3: Representaciones axonométricas. (ISO 5456-3:1996).

UNE-EN-ISO 5457. Documentación técnica de producto. Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo. (ISO 5457:1999).

UNE-EN ISO 6433. Dibujos técnicos. Referencia de los elementos. (ISO 6433:1981).

UNE-EN-ISO 10209-2. Documentación técnica de producto. Vocabulario. Parte 2: Términos relacionados con los métodos de proyección. (ISO 10209-2:1993).

UNE-EN ISO 11442:2006. Documentación técnica de productos. Gestión de documentos (ISO 11442:2006).

UNE-EN ISO 81714-1:2010. Diseño de símbolos gráficos utilizables en la documentación técnica de productos. Parte 1: Reglas fundamentales. (ISO 81714-1:2010)

2.4.2 Referencias

[1] Impresión SLA [en línea]. <http://www.trimaker.com/tecnologia-de-impresion-3d-sla-estereolitografia/#.VXBvTUYygVt> [Fecha de consulta 05 de Abril del 2015].

[2] Tipos de impresoras 3D [en línea]. <http://www.impresoras-3d.info/funcionamiento-y-tipos-de-impresoras-3d/> [Fecha de consulta 05 de Abril del 2015].

[3] Impresión SLA [en línea]. <http://www.trimaker.com/tecnologia-sls-sinterizado-selectivo-con-laser/#.VXBvjEYygVt> [Fecha de consulta 05 de Abril del 2015].

[4] Tipos de impresoras 3D y filamentos [en línea]. <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2013/02/impresion-3d.html> [Fecha de consulta 05 de Abril del 2015].

[5] Historia de las impresoras 3D [en línea]. <http://www.impresoras-3d.info/historia-de-las-impresoras-3d/> [Fecha de consulta 01 de Marzo del 2015].

[6] “**Crean una impresora 3D casi tan rápida como las de tinta y papel**” [en línea]. http://elpais.com/elpais/2015/03/16/ciencia/1426525758_665064.html [Fecha de consulta 17 de Marzo del 2015].

[7] **Wikipedia** “Acrilonitrilo butadieno estireno” [en línea]. Wikipedia, the free encyclopedia, 2015 [Fecha de consulta: 16 de Marzo del 2015].

[8] **Wikipedia** “Poliácido láctico” [en línea]. Wikipedia, the free encyclopedia, 2015 [Fecha de consulta: 16 de Marzo del 2015].

[9] **Bagad, V.S.** (2009). “*Mechatronics*” (4º Ed.). Technical Publications. Pág. 1-1 a 1-16. ISBN 9788184314908.

2.4.3 Software utilizado

Los siguientes programas se utilizaron para la realización del presente trabajo fin de grado:

Solid Edge ST5: utilizado para el diseño estructural de la impresora y sus partes impresas.

Repetier Host: utilizado para el control manual de la impresora y para generar el g-code de los diseños digitales 3D.

Cura: utilizado para generar g-code de los diseños digitales 3D.

Slic3r: utilizado para generar g-code de los diseños digitales 3D.

Arduino IDE: utilizado para configurar y cargar el firmware de la impresora en su tarjeta de control.

2.5 Definiciones y abreviaturas

En este apartado se relacionan todas las definiciones y abreviaturas con sus definiciones:

ABS: Acrilonitrilo butadieno estireno es un plástico muy resistente al impacto (golpes) muy utilizado en automoción y otros usos tanto industriales como domésticos. Es un termoplástico amorfo. [7]

PLA: Políácido láctico o ácido poliláctico es un polímero constituido por moléculas de ácido láctico. Se degrada fácilmente en agua y óxido de carbono. Es un termoplástico ampliamente utilizado en la impresión 3D bajo el proceso FDM. [8]

Backlash: se puede definir como "la máxima distancia o el ángulo a través del cual cualquier parte de un sistema mecánico se puede mover en una dirección sin aplicar fuerza apreciable o movimiento a la siguiente parte en la secuencia mecánica" [9].

Brim: Borde que amplía la base de la figura para tener mayor superficie de contacto con la cama caliente y evitar que se despegue la pieza.

G-code: es el nombre que recibe el lenguaje de programación más usado en Control numérico (CNC), el cual posee múltiples implementaciones. Las máquinas típicas que son controladas con G-code son fresadoras, cortadoras, tornos e impresoras 3D.

Homming: Posición inicial para comenzar una impresión.

Hotend: parte del extrusor encargado de calentar el plástico.

Infill: Relleno de la figura a imprimir, utilizado para ahorrar material.

Nozzle: nombre que recibe el final del extrusor, punta por la que fluye el plástico.

Motor PaP: motor paso a paso.

Proyecto RepRap: es una iniciativa con intención de crear una máquina autorreplicable que puede ser usada para prototipado rápido iniciada por el Doctor Adrian Bowyer en el 2004.

Raft: Similar al brim, es este caso se monta la figura a imprimir sobre un pedestal para evitar que se despegue.

RepRap: es la primera máquina auto-replicante de uso general.

Skirt: Vueltas previas para limpiar el extrusor y definir el espacio de impresión sobre la cama caliente.

Slicer: Herramienta utilizada para convertir un modelo digital 3D en las instrucciones de impresión para la impresora 3D (g-code).

2.6 Requisitos de diseño

La impresora 3D que se pretende diseñar debe tener en cuenta los siguientes requisitos establecidos por el tutor.

Los requisitos a tener en cuenta son de dos tipos principalmente: los de tipo estructural y los de tipo electrónico o de control.

En cuanto a los requisitos de carácter estructural y/o mecánico cabe destacar los siguientes:

- Dimensiones de impresión: El volumen de impresión debe poder superar los 200x200x200mm típicos de una impresora RepRap.
- Diseño estructural: La estructura de la impresora debe ser modular, permitiendo el rediseño total o de partes de la misma.
- Resolución: La resolución final de la impresora debe de ser de al menos 200µm.

En cuanto a los requisitos de tipo electrónico cabe destacar los siguientes:

- Manejo y control: La impresora 3D debe de poderse controlar tanto de forma autónoma como con un ordenador (PC, Mac o Linux).
- Electrónica de control: La electrónica de control debe ser del tipo hardware libre y de bajo coste.
- Programas de control: El software y firmware utilizado deben ser de licencia libre y multiplataforma (PC, Mac y Linux).

2.7 Análisis de las soluciones

En este capítulo de la Memoria se indican las distintas alternativas estudiadas, ventajas e inconvenientes de cada una y cuál es la solución finalmente elegida.

Para una mejor comprensión se dividirá en tres partes, una que hará referencia a la estructura, otra a la mecánica y otra a la electrónica.

2.7.1 Estructura

Esta sección se divide a su vez en estructura de soporte y base, en ella se valoran las distintas alternativas estudiadas.

2.7.1.1 Estructura de soporte:

Como se menciona en los requisitos de diseño, el volumen de impresión debe de ser mayor de 200x200x200mm, dimensiones típicas de las impresoras de filosofía libre. Por este motivo las estructuras comercializadas como la P3Steel o la PrusaAir no se tienen en cuenta.



Ilustración 2.7.1.1 - Izq. P3Steel. Dcha. PrusaAir (www.reprap.org)

Teniendo en cuenta esto se estudiarán dos posibilidades:

1º) Estructura cerrada tipo cubo.

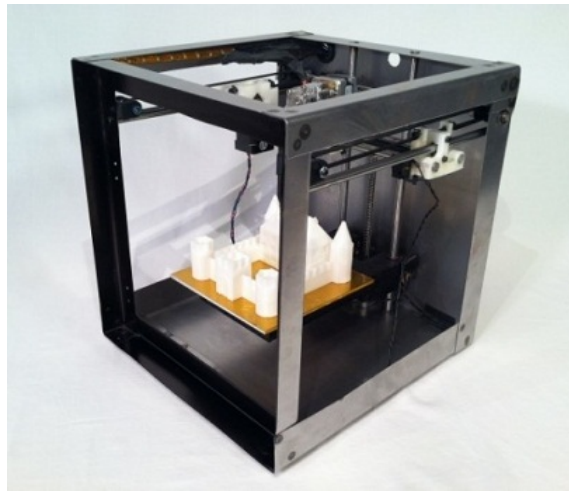


Ilustración 2.7.1.2 - Impresora 3D de estructura cerrada

2ª) Estructura tipo pórtico.

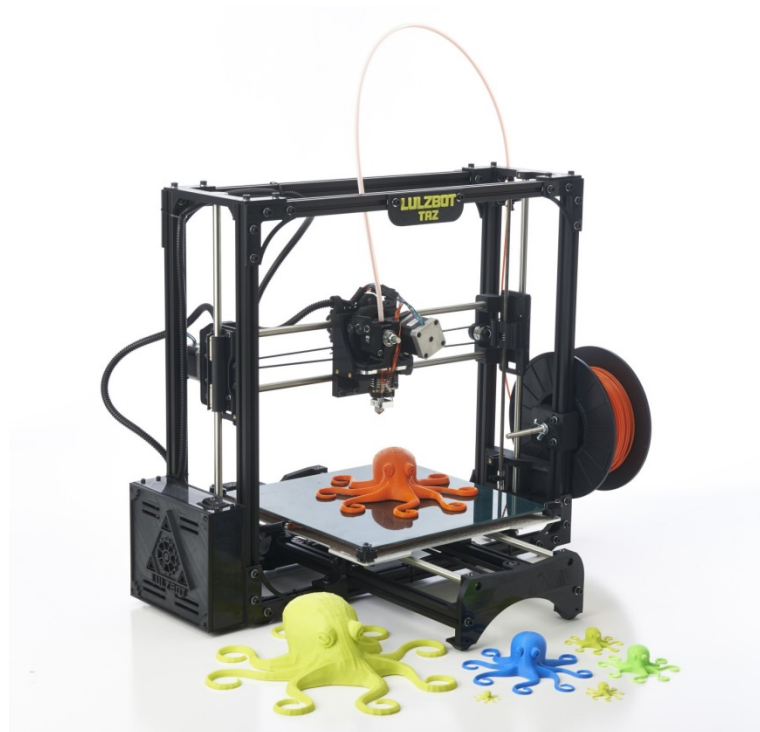


Ilustración 2.7.1.3 - Impresora 3D de estructura tipo pórtico

Aunque se pueden concebir ambas estructuras con distintas posibilidades en sus ejes, lo habitual es que en las estructuras de tipo pórtico el eje Y mueva la base y los ejes X y Z el extrusor, mientras que en las estructuras cerradas el eje Z será el encargado de elevar la base y los ejes X e Y los encargados de mover el extrusor.

Teniendo en cuenta lo anterior se presentan las distintas ventajas e inconvenientes:

	Ventajas	Inconvenientes
Estructura cerrada	<ul style="list-style-type: none"> - Volumen de trabajo cerrado, es posible la insonorización y el aislamiento térmico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor volumen de material, mayores costes. - Mayor dificultad a la hora de mantener la base horizontal. Eje Z más robusto.
Estructura en pórtico	<ul style="list-style-type: none"> - Menor volumen de material, generalmente menores costes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Volumen de trabajo abierto, la insonorización y el aislamiento no son posibles. - La superficie de la impresora será como mínimo el doble de la base.

Tabla 2.7.1.1 - Ventajas e inconvenientes de las estructuras estudiadas.

Con el objetivo de primar la seguridad en el ambiente de trabajo se opta por la estructura cerrada con el fin de bloquear el acceso al área de trabajo de forma involuntaria.

Con el propósito de hacer la estructura lo más polivalente posible se utilizan perfiles de aluminio de 4 guías con sus correspondientes tuercas de apriete (tee nuts). En concreto perfiles de aluminio 6063-T5, como se muestra en la siguiente imagen.

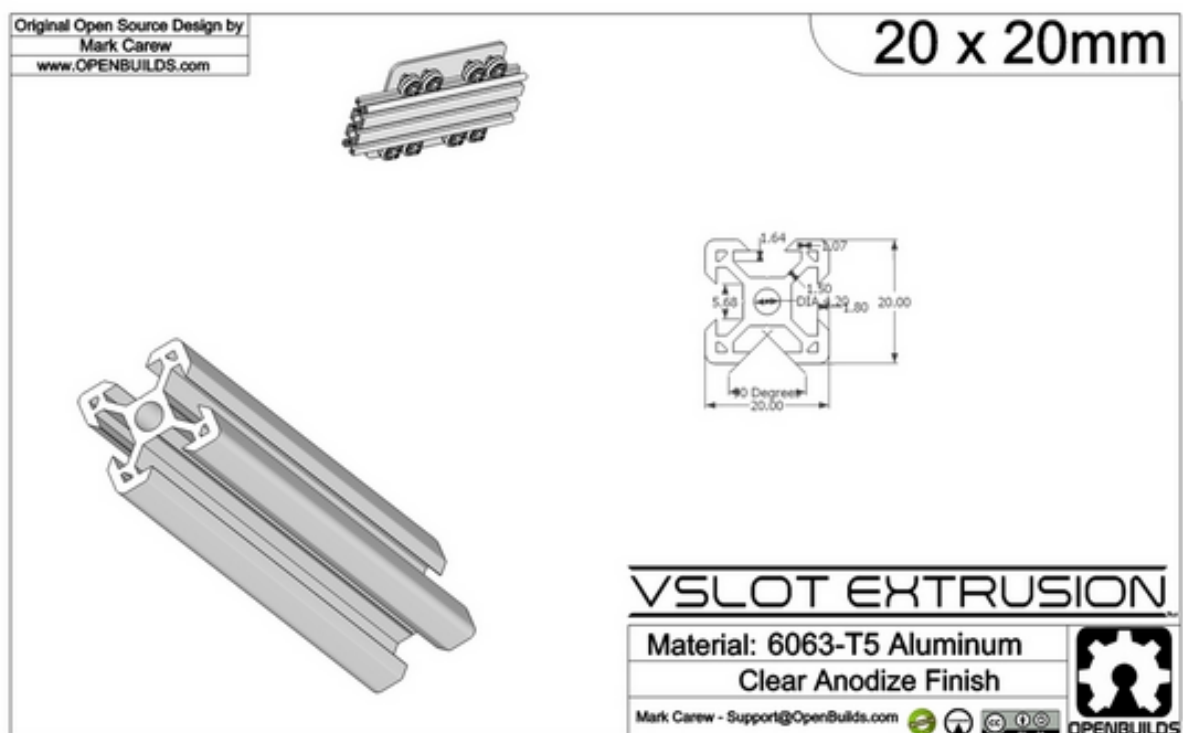


Ilustración 2.7.1.4 - Perfil de aluminio elegido

Estos perfiles cuentan con un corte en la guía a ambos lados de 45° lo que permite el guiado sobre ellos.

Con el objeto de utilizar estos perfiles para el guiado de la base, se seleccionan dos perfiles de 60x20mm con sus respectivos kits de ruedas para el eje Z.

Para sujetar todas las partes de la impresora (extrusor, guías, motores, electrónica, etc.) a la estructura, se dispone de una impresora 3D con la que se


imprimirán las partes necesarias, previamente dibujadas en posición con el SolidEdge ST5 para minimizar los errores de diseño. Se pretende reducir los costes totales imprimiendo el mayor número de piezas posibles.

2.7.1.2 Base:

La base de la impresora 3D debe ser calefactable para poder optar a un abanico mayor de materiales de impresión o filamentos.

La opción de utilizar un cristal como capa ultima en contacto directo con el plástico se descarta por su gran tamaño y fragilidad. Por este motivo se decide utilizar una base de aluminio.

Opciones de calefactado para la base de aluminio (ventajas e inconvenientes):

Modelo	Ventajas	Inconvenientes
<p>Resistencia baquelita clásica</p> 	-Menor coste.	- Menor rango de tamaños y potencias.


Modelo	Ventajas	Inconvenientes
Resistencia en silicona 	-Menor tiempo de espera, rápido calentamiento. -Mayor variedad de tamaños y potencias.	-Coste 5 veces superior a la resistencia clásica. -Circuito alternativo de potencia.

Tabla 2.7.1.2 - Sistemas de calefactado de la base

Inicialmente se instalará la resistencia clásica unida a la base de aluminio con silicona térmica para mejorar la transferencia de calor. Debido a su bajo coste y fácil adquisición, se opta por este método.

2.7.2 Mecánica

En este apartado se analizan las guías lineales, los motores, las poleas y husillos, y el extrusor.

2.7.2.1 Guías lineales:

Se han tenido en cuenta dos tipos de sistemas de guiado. Por un lado el sistema típico de varilla lisa y rodamiento lineal y por otro los sistemas de guías para máquinas de control numérico.



Ilustración 2.7.2.1 - Guías lineales

Aunque las velocidades de las guías profesionales son superiores a las guías mediante varilla y rodamiento con tracción a través de polea o husillo, su coste también lo es. Con el objetivo de minimizar los costes cumpliendo siempre con los requisitos de diseño, se opta por el método de rodamiento y varilla lisa como la mayoría de impresoras del tipo Reprap, el movimiento a lo largo de los ejes se realizara con poleas y husillos.

2.7.2.2 Motores:

Los motores que se utilizaran serán del tipo paso a paso, de 200 pasos por vuelta y corriente máxima de 1,5 A. El paso de estos motores se dividirá mediante los drivers de control.



Ilustración 2.7.2.2 - Motor paso a paso

2.7.2.3 Poleas dentadas y husillos:

Las poleas y los husillos serán los que determinen el movimiento mínimo que puedan dar los ejes, partiendo del paso mínimo del motor.



Ilustración 2.7.2.3 - Poleas dentadas

Las poleas, en general, para un mejor rendimiento se desea que al menos 6 dientes estén en contacto, esto minimiza el riesgo de deslizamiento, y ayuda a reducir la pérdida de pasos. Actualmente se utilizan poleas del tipo T2.5, T5, Gt2 o Gt3. Con el objetivo de obtener la mayor resolución se escogen las poleas Gt2 de 20 dientes, ya que tienen un paso de 2mm, el menor de todos.



Ilustración 2.7.2.4 - Husillo trapezoidal

Los husillos seleccionados también tendrán un paso de 2mm por vuelta, serán del tipo comercial Tr8x2.0.

2.7.2.4 Extrusor:

El extrusor es una de las partes más importantes de la impresora, sus partes principales son las siguientes:

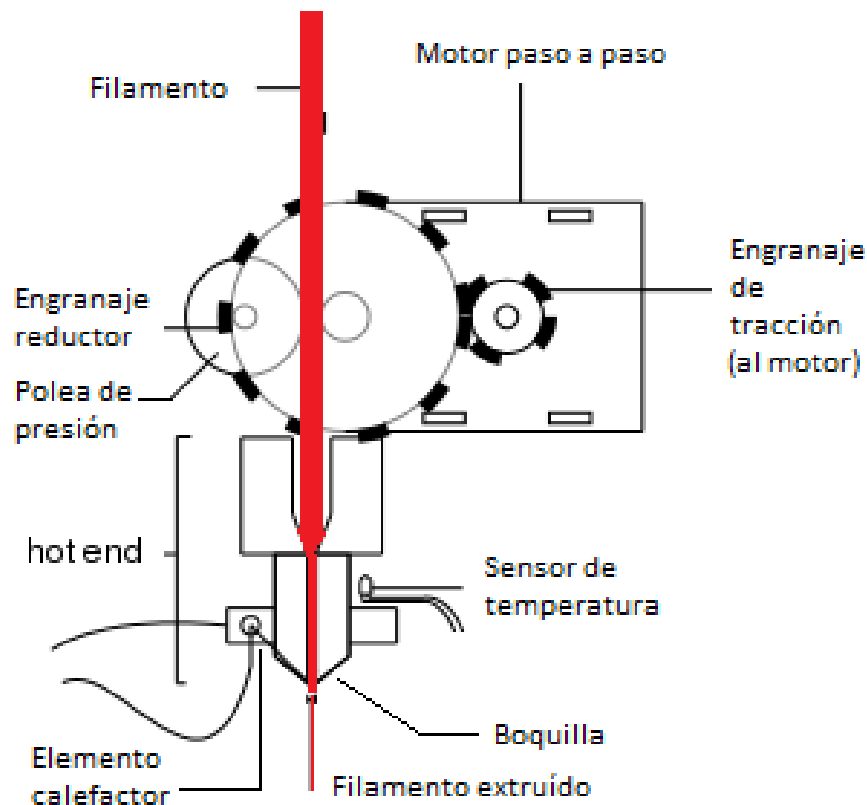


Ilustración 2.7.2.5 - Partes extrusor

Existen distintas variantes de este diseño. Se concibe así, con el motor acoplado al hotend o separado del mismo (tipo bowden), al igual que con engranaje reductor o de tracción directa.

El hotend se divide a su vez en tres partes, el disipador, parte refrigerada previa al bloque calefactor, el bloque calefactor que alberga el sensor de temperatura y el cartucho o elemento calefactor y el barrel, tornillo hueco que une ambos.

Comercialmente existen multitud de extrusores para impresoras 3D, sus precios van desde los 15 hasta los 100€.

Se decide escoger un extrusor de gama media con cuerpo de aluminio gracias al rango de temperaturas y materiales con los que se puede trabajar.

En concreto el modelo E3D de tipo bowden que se puede ver en la siguiente imagen.

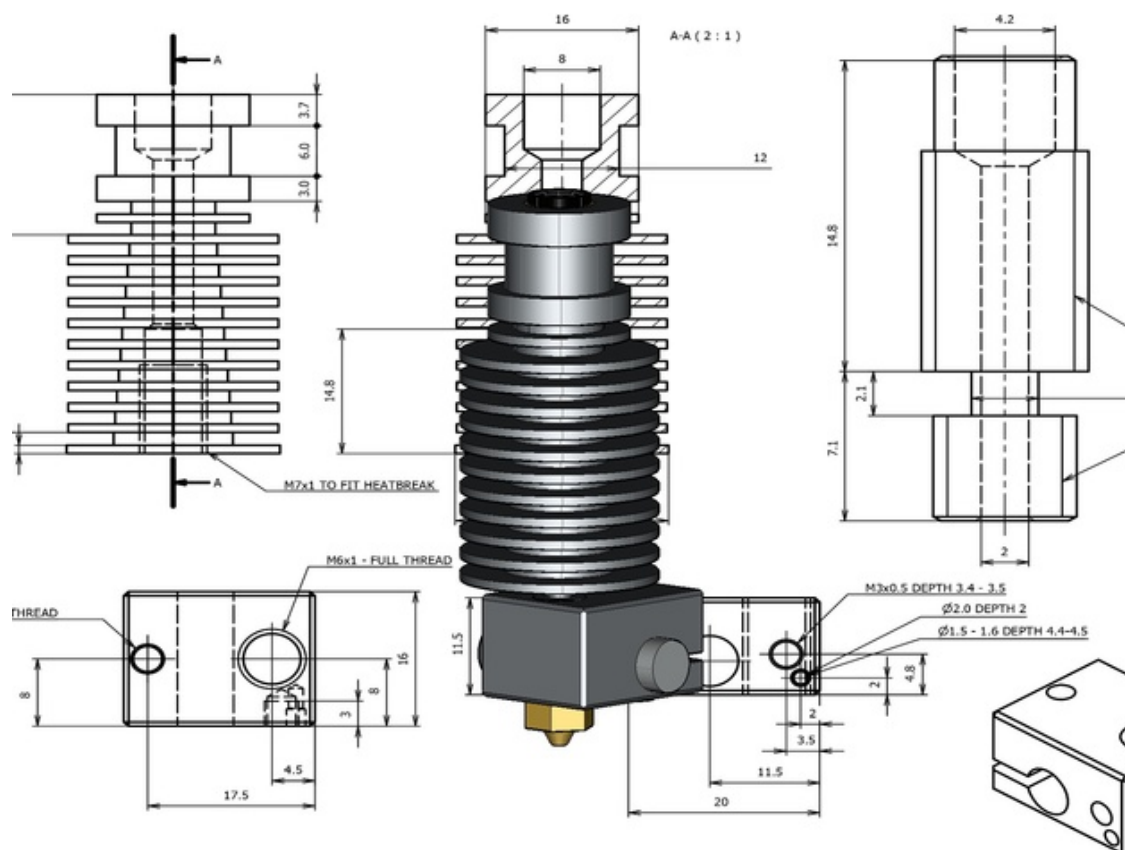


Ilustración 2.7.2.6 - Extrusor elegido

2.7.3 Electrónica

En este apartado se analiza la electrónica y el firmware que la controla.

La siguiente tabla muestra las placas de control estudiadas:

Placa	Extrusores	Ventiladores	FdC	Sensor T ^a	CPU	Velocidad (MHz)
SAV-MKI	1	3	4	2	8 bits AT90USB12 86	16
Sanguino lolu	1	3	3	2	8 bits ATmega644 P	16
RAMPS	2	3	6	3	Arduino Mega 8 bits ATmega 2560	16
RAMBO	2	3	6	4	Atmega2560 o Atmega32u2	16
RUMBA	3	2	6	4	Atmega2560 o Atmega16u2	16

Tabla 2.7.3.1 - Comparativa placas de control estudiadas

Por ser uno de los modelos más utilizados y permitir el control de dos extrusores se escoge la placa RAMPS con drivers para motores paso a paso del tipo A4988 de 2 A de corriente máxima por bobina.

Para el control de la placa se han tenido en cuenta dos firmwares, Marlin y Sprinter. Tras probar ambos, se escoge el firmware Marlin por su mejor manejo de temperaturas y mayor abanico de configuraciones.

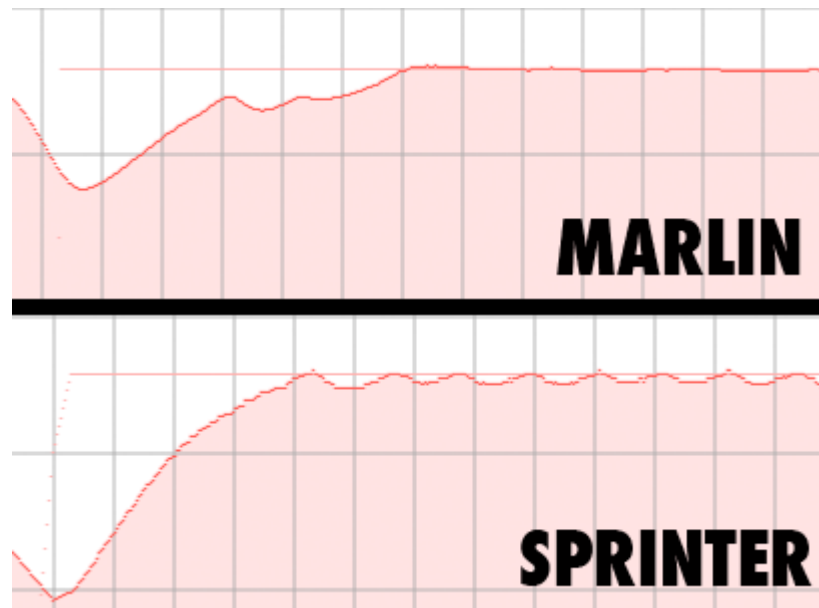


Ilustración 2.7.3.1 - Control de temperatura Marlin vs Sprinter

Sus características principales son las siguientes:

- Interrupción basada en el movimiento con aceleración lineal real.
- Alto intervalo de pasos
- Observa hacia dónde va, y mantiene una velocidad alta cuando es posible.
Alta velocidad en curvas.
- Interrupción por protección de temperatura.
- Soporte preliminar para el algoritmo de avance Mateo Roberts Para más información ver: <http://reprap.org/pipermail/reprap-dev/2011-May/003323.html>
- Soporte completo para los finales de carrera
- Tarjeta SD
- Soporte para auto inicio desde tarjeta SD.
- Soporte para display LCD (ideal 20x4)
- Menú para impresión autónoma desde display LCD.
- Almacenamiento en EEPROM de ej. Máx velocidad, máx. aceleración, y variables similares.

- Soporte para arcos
- Sobre muestreo de temperatura
- Selección de temperatura dinámica o “Auto Temperatura”
- Soporte para QTMarlin, una beta para PID de ajuste y pruebas de velocidad-aceleración. <https://github.com/bkubicek/QTMarlin>
- Control de finales de carrera.
- Aviso de sobre temperatura. Útil para la monitorización PID.
- Ajuste PID.
- CoreXY kinematics (www.corexy.com/theory.html)
- Puerto serie configurable para soportar adaptadores inalámbricos.

2.8 Resultados finales

En este capítulo se describe el producto según la solución elegida, indicando cuáles son sus características definitorias.

2.8.1 Dimensiones finales

Como se puede ver en la fase 15 del montaje estructural de la impresora las dimensiones finales de impresión son de 270x250x300mm para los ejes "X, Y y Z" respectivamente. Esto nos da un volumen de impresión de 20,25 dm³, el cual es 2,5 veces mayor que el de una impresora del tipo Reprap.

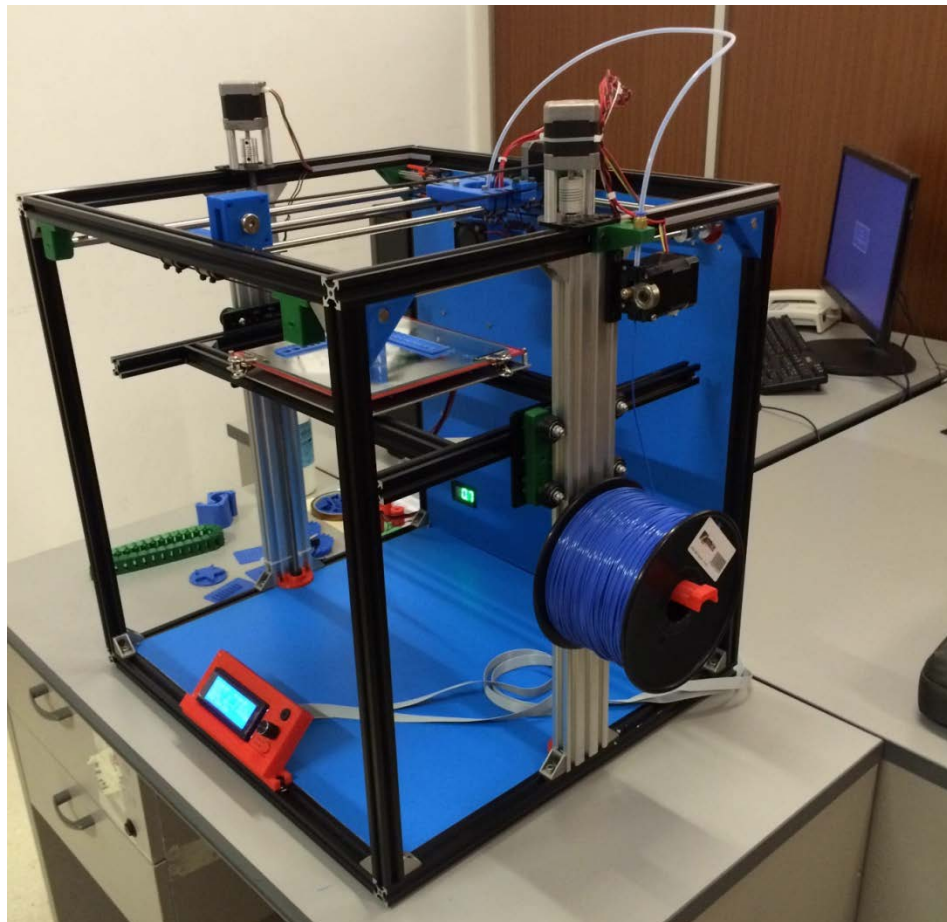


Ilustración 2.8.1.1 - Resultado final

Inicialmente aprovechando que la base es regulable en amplitud se ha instalado la cama caliente de baquelita, poniendo sobre ella un espejo, reduciendo la

superficie de impresión a 200x200mm y manteniendo la altura en 300mm. Gracias a esto se han podido hacer las pruebas de impresión y el calibrado de la impresora.

2.8.2 Espacio térmico de trabajo

Un factor determinante en el buen funcionamiento de la impresora y en el buen acabado de las piezas impresas es la temperatura.

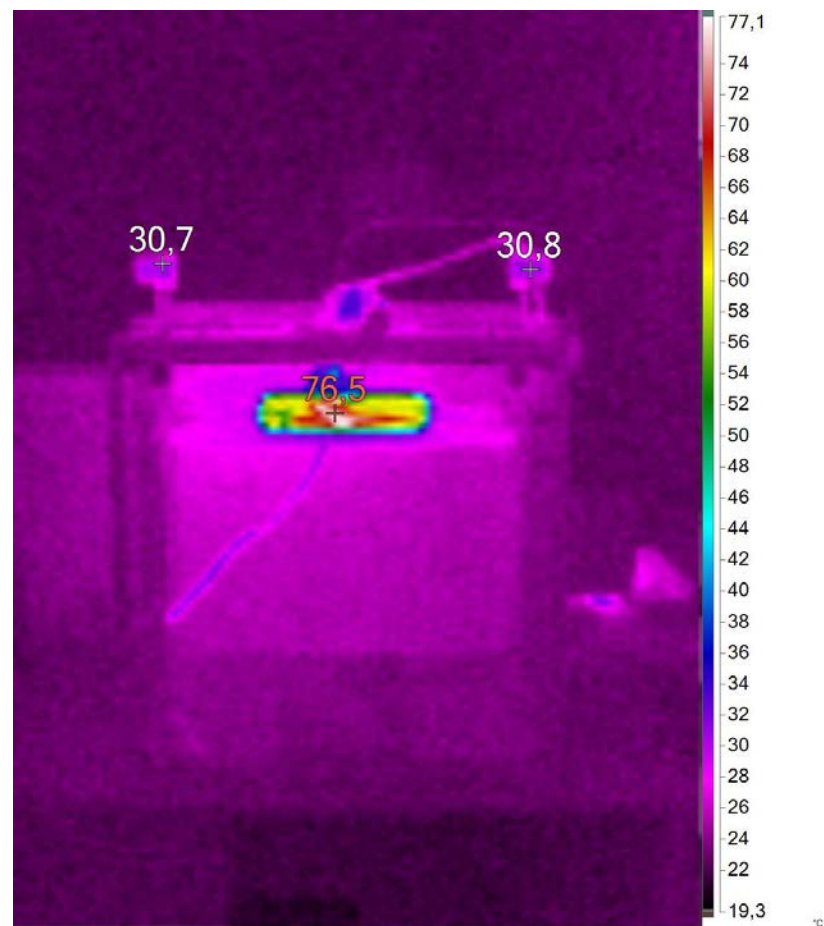


Ilustración 2.8.2.1 - Espacio térmico de trabajo

Mientras que el extrusor debe rondar los 230°C, la cama caliente debe estar en 100°C, esto ayuda a la adhesión de la pieza a la base evitando que se despegue

y se pierda el trabajo. Al mismo tiempo, el plástico una vez salga del extrusor se debe enfriar para conseguir buenos acabados y que los hilos no cuelguen.

Por otro lado, la electrónica debe mantener unos niveles de temperatura bajos, los drivers de los motores por exceso de temperatura podrían limitar la corriente y en el mejor de los casos hacernos perder pasos. Por estés motivos entre otros la electrónica debe estar refrigerada.

Teniendo en cuenta todo lo anterior se han hecho imágenes térmicas de la impresora para comprobar que el diseño es funcional.

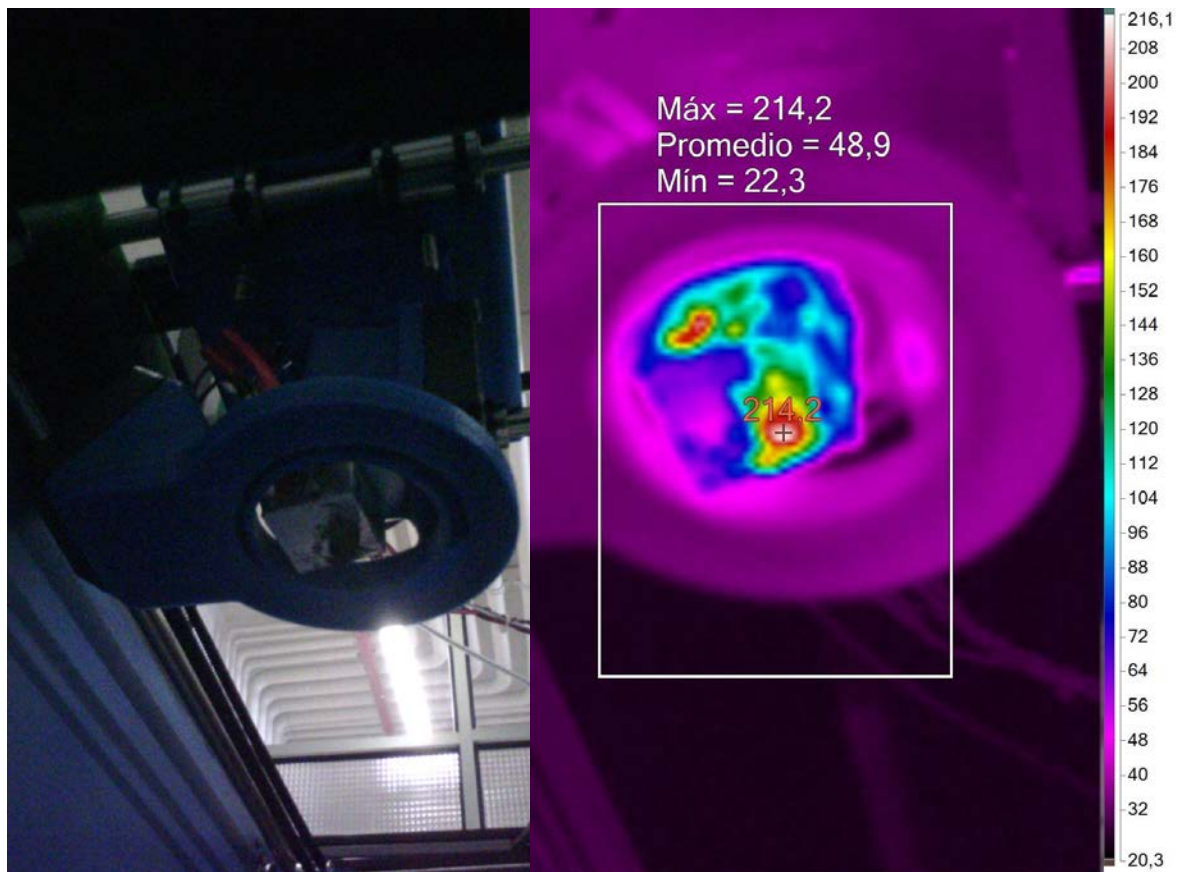


Ilustración 2.8.2.2 - Imagen térmica del extrusor

En la imagen anterior el extrusor se está calentando para llegar a los 235°C y comenzar la impresión, aquí se puede ver como la temperatura del bloque calefactor no afecta al entorno gracias al doble ventilador instalado en el extrusor.

Un ventilador refrigera el extrusor para evitar el reflujo de plástico por su interior mientras que el otro enfría el plástico según sale.

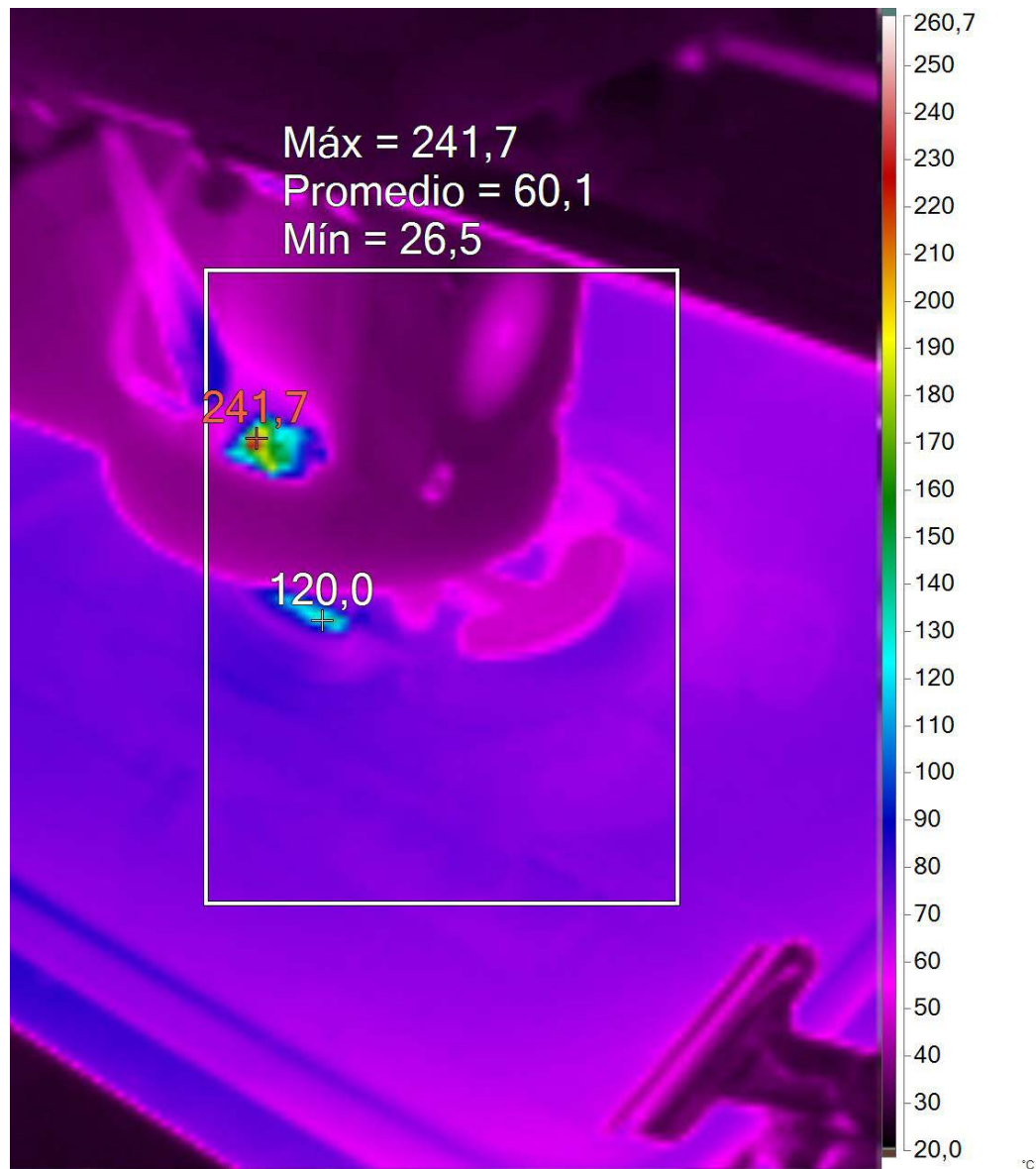


Ilustración 2.8.2.3 - Imagen térmica del extrusor imprimiendo

Se puede apreciar en la imagen anterior y posterior que el plástico una vez depositado reduce su temperatura drásticamente permitiendo puentes de mayor longitud y evitando que cuelgue.

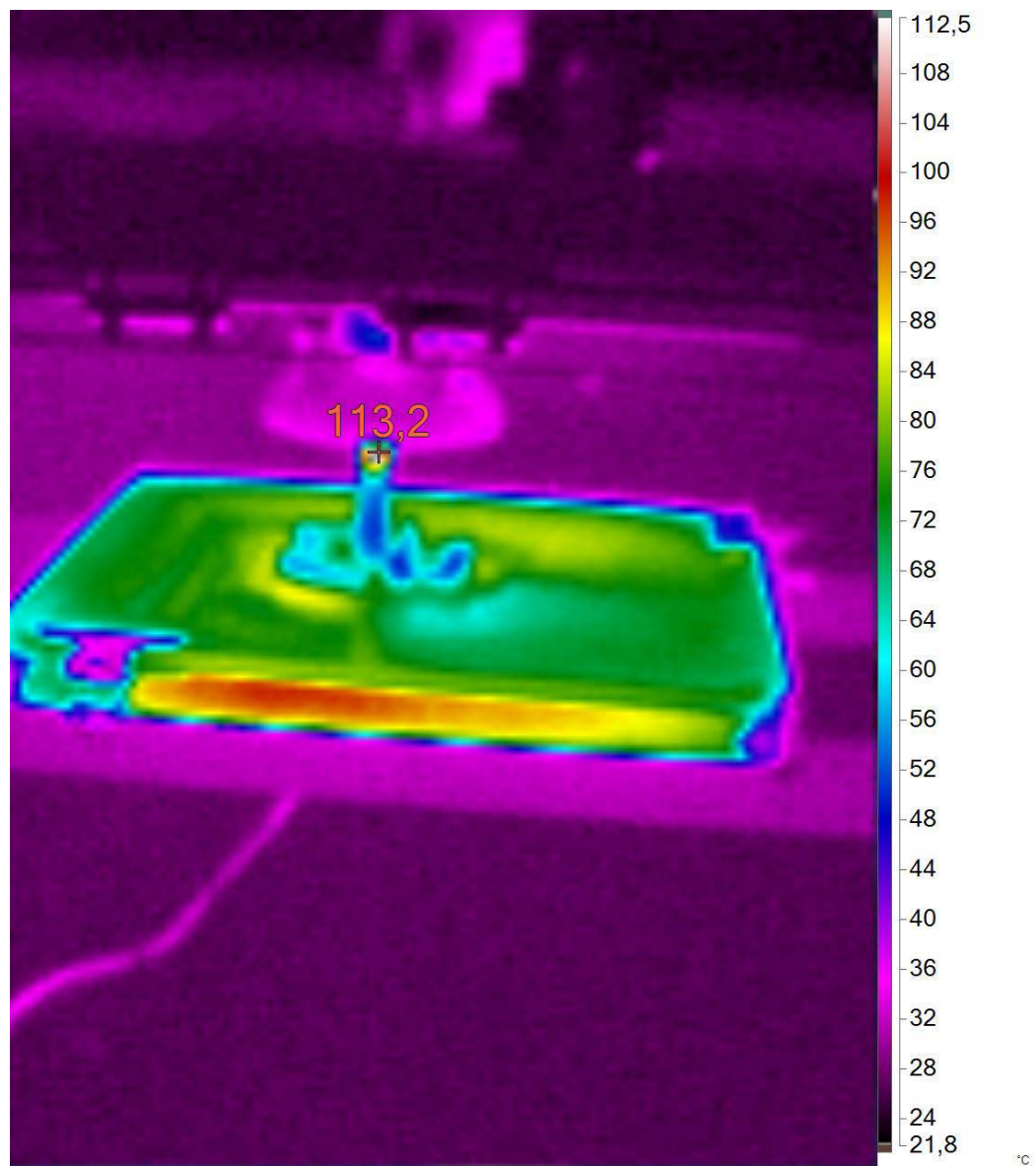


Ilustración 2.8.2.4 - Imagen térmica del extrusor imprimiendo 2



Ilustración 2.8.2.5 - Imagen térmica de la cama caliente

Como se aprecia en la imagen anterior la cama caliente tiene una temperatura uniforme lo cual mejora la adhesión de la pieza.

Por ultimo queda analizar la electrónica que tras una impresión de 2 horas mostraba la siguiente imagen térmica.

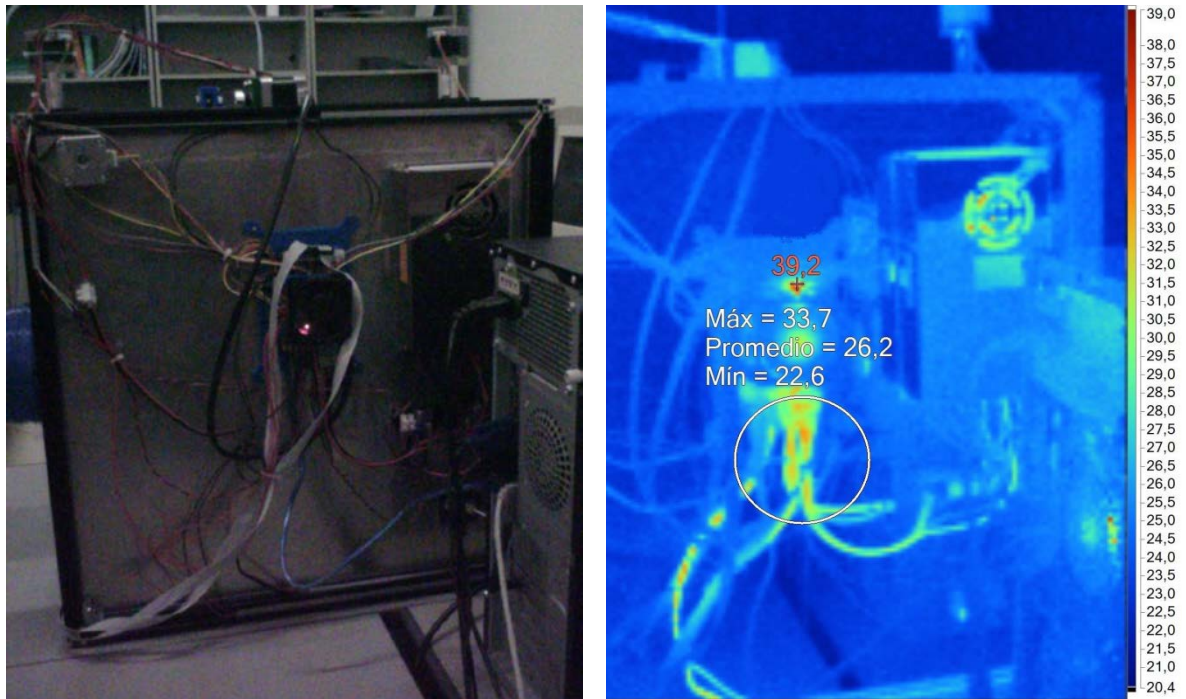


Ilustración 2.8.2.6 - Imagen térmica de la electrónica

Se puede ver que la temperatura general de trabajo es baja lo que favorece el correcto funcionamiento de la máquina.

Se aprecia un punto caliente en la parte superior que corresponde al variador del eje Z, que por estar más separado del caudal del ventilador tiene una temperatura más elevada. Según la hoja de características los variadores A4988 tienen una temperatura máxima de la unión de 165°C, por lo que con 40°C tiene un punto de trabajo óptimo.

2.8.3 Resumen de características finales

A lo largo del presente trabajo se describen las opciones estudiadas, así como las finalmente elegidas, su montaje y puesta a punto. También se detalla la configuración y cálculo de parámetros fundamentales de la impresora para su correcto funcionamiento.

A continuación se muestra la tabla que recoge las características finales de la impresora.

Grupo	Característica	Valor máximo
Temperaturas	Temperatura extrusor	275 °C
	Temperatura cama caliente	120 °C
Volúmenes	Volumen exterior	540x500x630mm (incl. motores)
	Volumen interior	388x354x380 mm
	Volumen de impresión	270x250x300 mm
Extrusor	Diámetro Nozzle	0,4 mm
	Velocidad	35 mm/s
	Diámetro filamento	1,75 mm
Movimiento	Resolución eje X e Y	12,5 µm
	Resolución eje Z	625 nm
	Velocidad máx. eje X e Y	400 mm/s
	Velocidad máx. eje Z	3 mm/s
	Aceleración máx. eje X e Y	1500 mm/s ²
	Aceleración máx. eje Z	100 mm/s ²
	Velocidad máx. de impresión recomendada	80 mm/s

Ilustración 2.8.3.1 - Características finales de la impresora

2.9 Orden de prioridad entre los documentos básicos

En este capítulo de la Memoria se establece el orden de prioridad de los documentos básicos del TFG.

Debido a la naturaleza del proyecto el orden es el siguiente:

- 1 Anexo, manual de montaje y uso
- 2 Planos
- 3 Pliego de Condiciones
- 4 Estado de Mediciones.
- 5 Memoria
- 6 Presupuesto

**TÍTULO: DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE.
PROPUESTA E IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y
MEJORAS ESTRUCTURALES.**

ANEXOS

**PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N
15405 - FERROL**

FECHA: JUNIO DE 2015

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: DAVID ARMADA PITA

INDICE ANEXOS

	Páginas
3 ANEXOS	54
3.1 Documentación de partida	54
3.1.1 Anteproyecto	54
3.2 Manual de montaje y uso	56
3.2.1 Montaje estructural y mecánico	57
3.2.2 Montaje eléctrico y electrónico	70
3.2.3 Imágenes reales del montaje	77
3.2.4 Ajuste final y determinación del error	86
3.2.4.1 Ajuste del firmware	86
3.2.4.2 Ajuste mecánico.....	90
3.2.4.3 Ajuste eléctrico.....	92
3.2.5 Configuración del firmware	96
3.2.6 Manual de uso.....	103
3.2.6.1 Solución de problemas	112
3.2.7 Piezas de calibración impresas	114
3.3 Hojas de características	118

3 ANEXOS

3.1 Documentación de partida

3.1.1 Anteproyecto

Se incluye a continuación el anteproyecto presentado en el momento de la solicitud del presente trabajo fin de grado.

Título del proyecto: Desarrollo de impresora 3D Open-source. Propuesta e implementación de nuevas dimensiones y mejoras estructurales.

Titulo do proxecto: Desenvolvemento dunha impresora 3D de código aberto. Proposta e implementación de novas dimensións e melloras estruturais.

Title of the Project: Development of an open source 3D printer. Proposal and implementation of new dimensions and structural improvements.

Directores:

Tutor: Rodríguez García, Juan De Dios

Cotutor/Codirector: Couce Casanova, Antonio

Descripción y objetivo:

- Elección del kit de impresión 3D Open-source. Montaje, pruebas de impresión con diferentes materiales: ABS, PLA. Determinación del error.

- Elaboración de un procedimiento de calibración y de escalado de dimensiones.
- Elaboración de un manual de uso con un capítulo de Troubleshooting (solución de problemas)
- Propuestas de mejora del presente trabajo. Estudio y propuesta de mejoras del sistema de guiado: perfilera, piezas de unión, rodamientos, etc.
- El presente trabajo se realizara siguiendo el procedimiento de trabajo contemplado en la Guía de elaboración de Trabajos de Fin de Grado de la EUP.

3.2 Manual de montaje y uso

En este anexo se describe el montaje total de la impresora tanto su parte estructural y mecánica como electrónica, así como también la configuración del firmware.

Para su mejor comprensión, el manual se divide en 7 partes:

1ª Parte (Montaje estructural y mecánico): Dividido a su vez en 15 fases. Se recomienda seguir las fases alternando con las imágenes reales del montaje para una mejor comprensión.

2ª Parte (Montaje eléctrico y electrónico): Dividido en 10 fases. Se describe el montaje con imágenes reales y de forma genérica para poder ser implementado en cualquier modelo.

3ª Parte (Imágenes reales del montaje): En las imágenes reales del montaje se muestra el resultado final del montaje, así como el lugar elegido para pasar los cables o fijar los finales de carrera.

4ª Parte (Ajuste final): En esta parte se calcula el movimiento mínimo de los ejes y los pasos por milímetro. También se repasa el ajuste mecánico y calibración de la base.

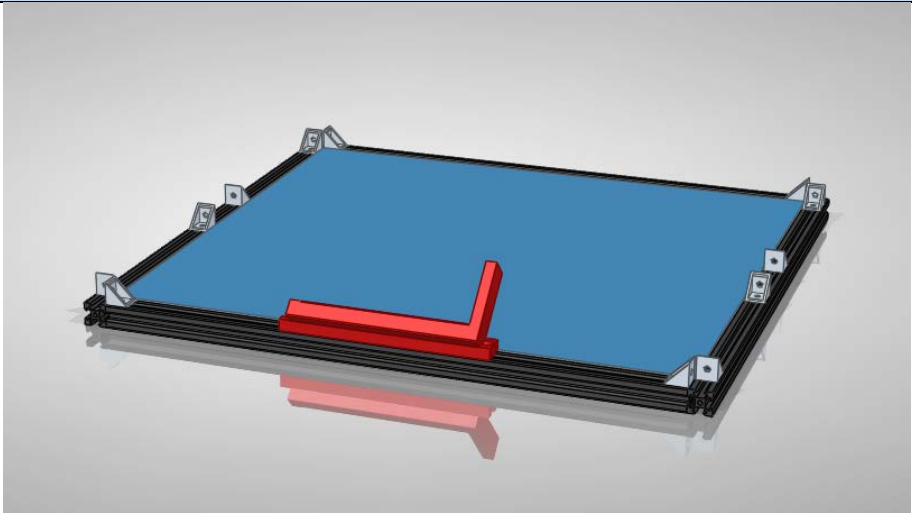
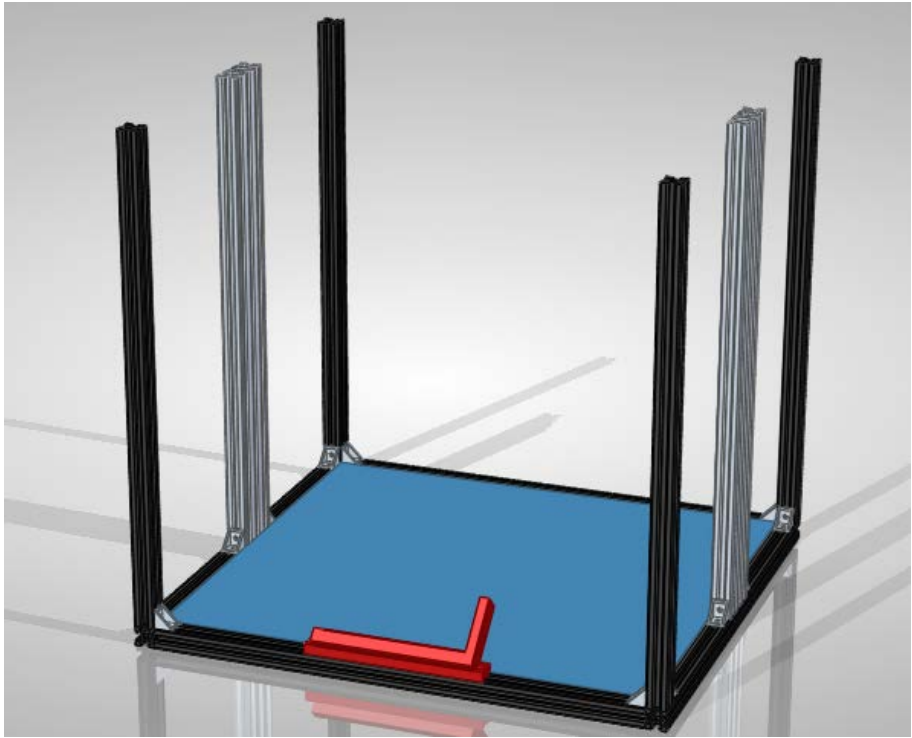
5ª Parte (Configuración del firmware): Dividido en 15 fases, describe las modificaciones necesarias para poder cargar el firmware en el Arduino Mega y poder mover por primera vez la impresora.

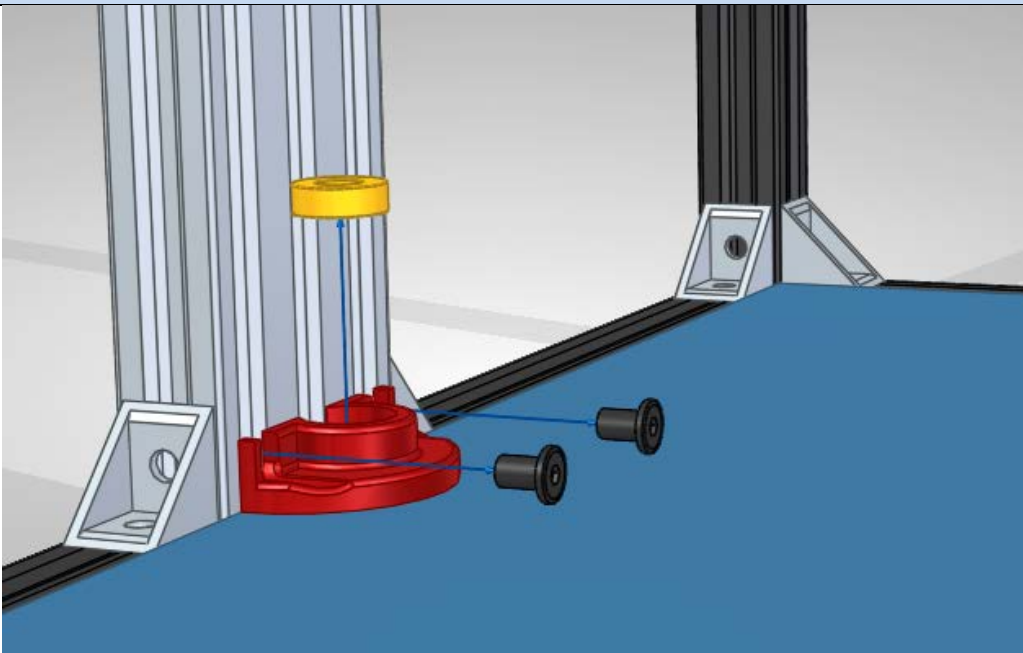
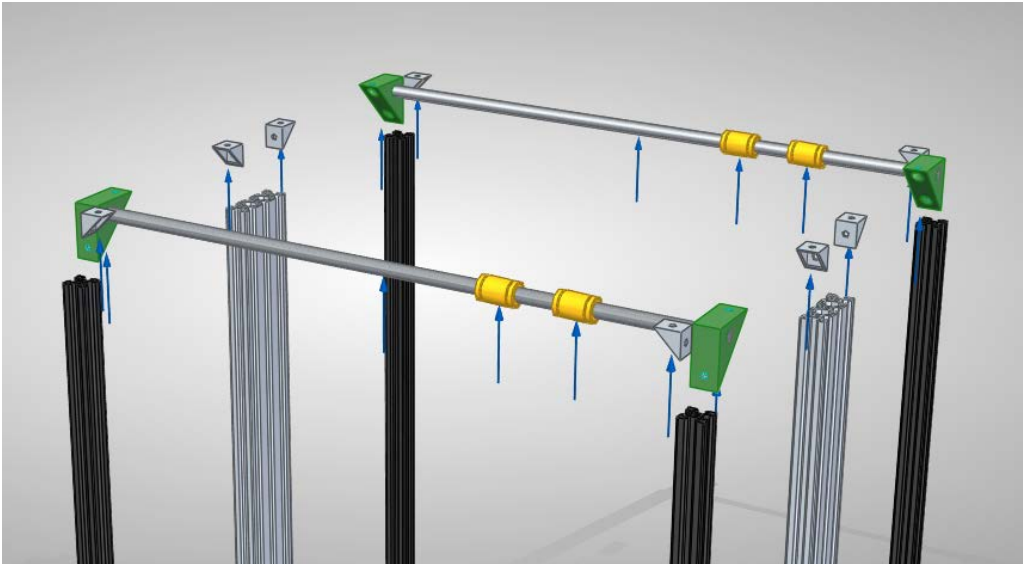
6ª Parte (Manual de uso): Se describen los pasos para poder imprimir a través del PC y del LCD.

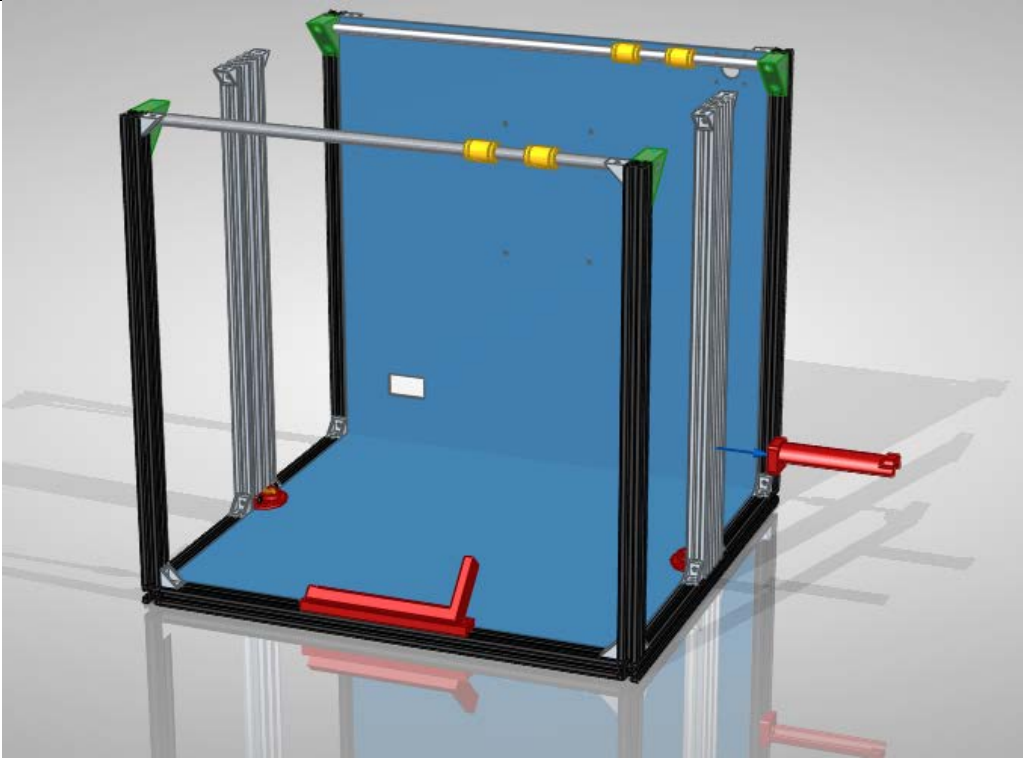
7ª Parte (Piezas de calibración impresas): Se muestran imágenes de piezas impresas.

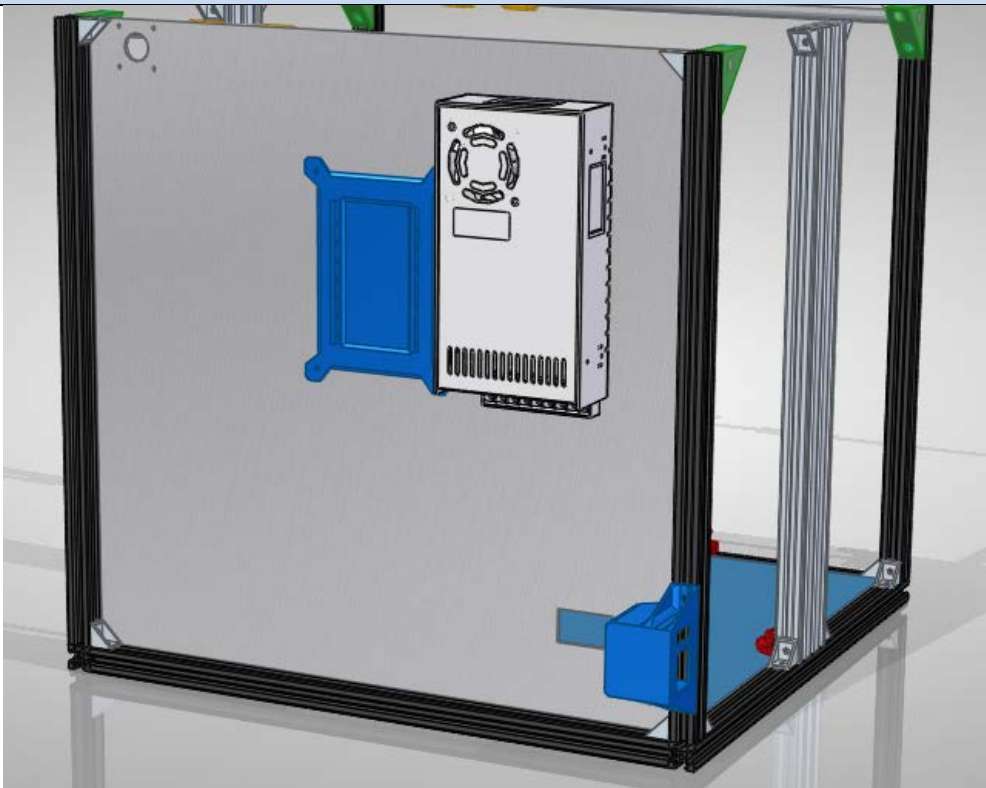
3.2.1 Montaje estructural y mecánico

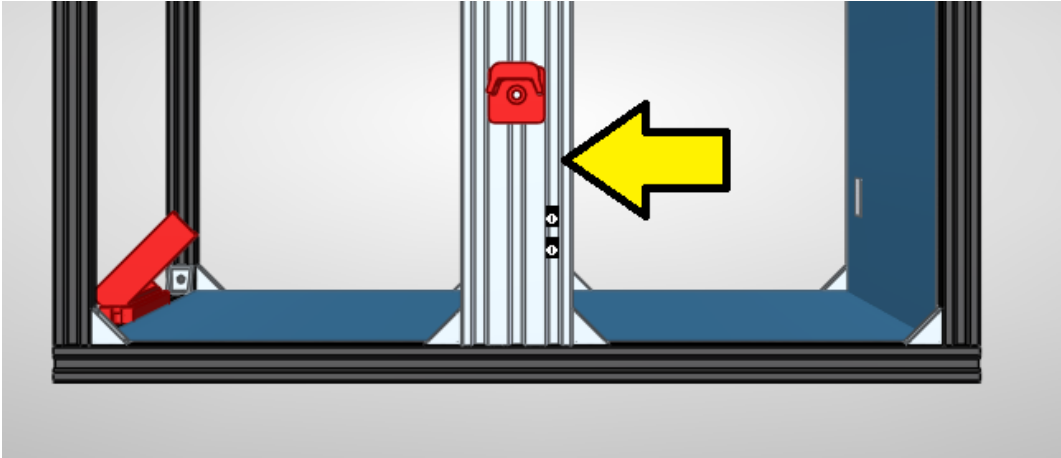
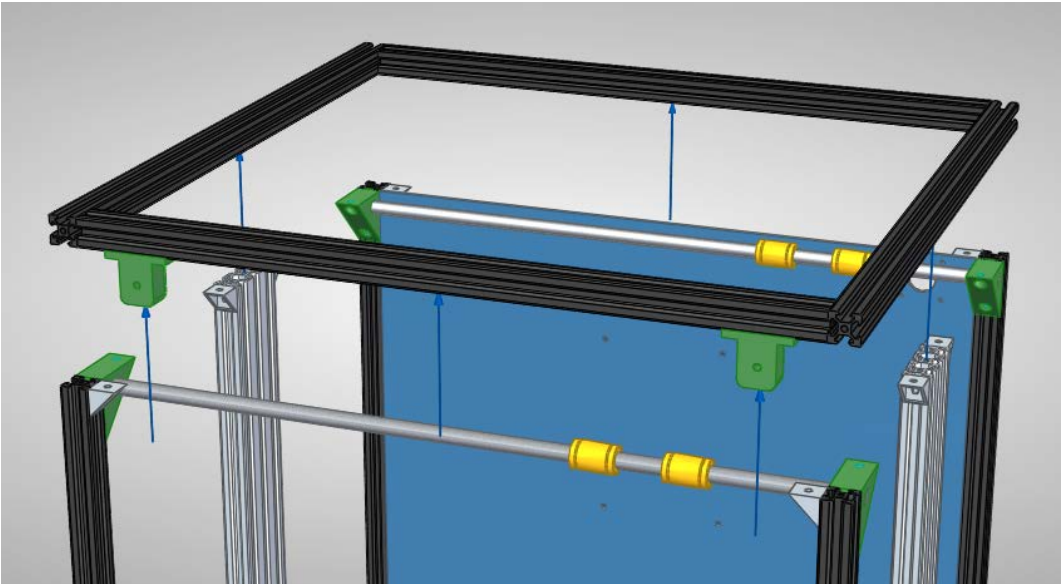
Fase	Descripción
1	<div data-bbox="413 392 1404 985"> </div> <p data-bbox="373 1041 1445 1198">Con 4 perfiles, 16 uniones y 34 tee nuts + 34 tornillos allen M5X8mm se hace un marco, como se puede ver en la imagen. (2 tee nuts y 2 tornillos iran en el soporte del LCD, en las imágenes en rojo).</p> <div data-bbox="413 1243 1404 1814"> </div>

Fase	Descripción
2	<div data-bbox="451 300 1366 810"></div> <p data-bbox="373 869 1445 1014">Se coloca el fondo de 500x460mm sobre las uniones centrales y se posicionan otros 4 perfiles simples y 2 triples como se aprecia en la siguiente imagen.</p> <div data-bbox="451 1068 1366 1803"></div> <p data-bbox="373 1861 1445 1944">Despues de fijar los 6 perfiles con sus correspondientes tee nuts y tornillos se bloquea el fondo.</p>

Fase	Descripción
3	 <p>Estos bloqueos servirán como final de husillo, por este motivo pondremos en su interior un rodamiento zz688.</p>
4	<p>Situamos 8 uniones para los perfiles y 4 'uniones del eje X' con sus correspondientes varillas M10 y rodamientos LM10UU.</p> 

Fase	Descripción
5	<div data-bbox="395 302 1423 1057"></div> <p data-bbox="373 1111 1445 1317">Atornillamos el soporte para la bobina con un tornillo allen M5x10mm y el panel trasero con tornillo y tuerca autoblocante M3x6mm, en su posición. (Previamente se debe taladrar y cortar la parte trasera como que indica en el plano correspondiente)</p>

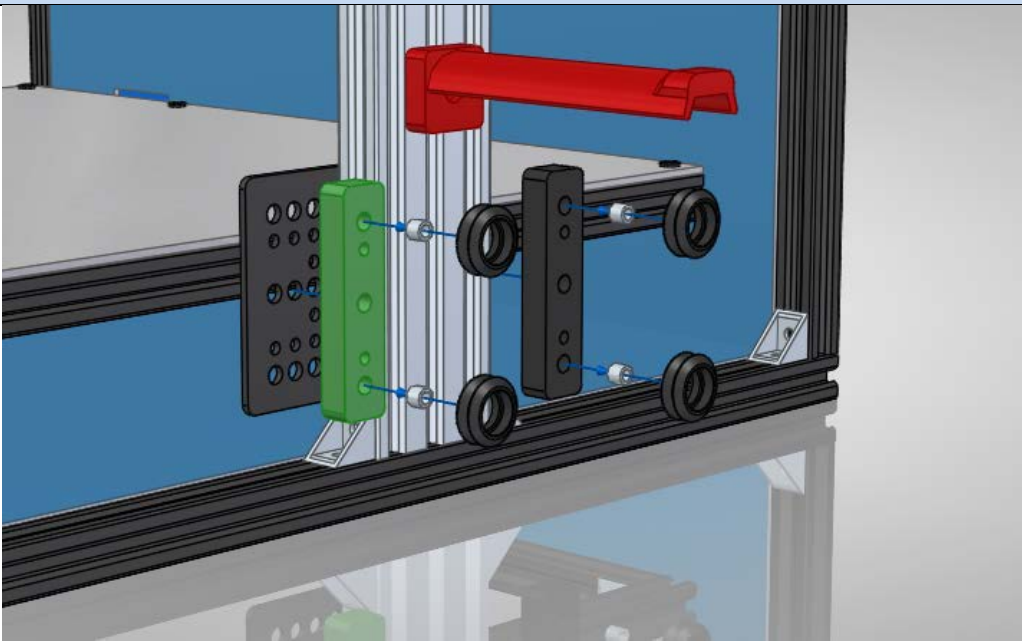
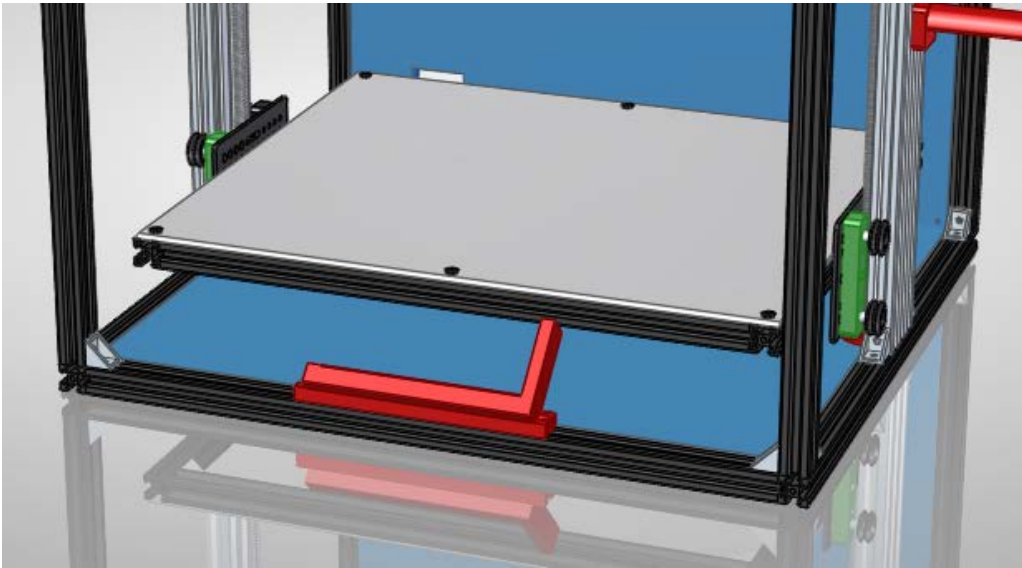
Fase	Descripción
6	 <p data-bbox="373 1137 1447 1234">Por otro lado se sitúan en el panel trasero los soportes para el arduino y el interruptor de encendido, así como la fuente de alimentación.</p>

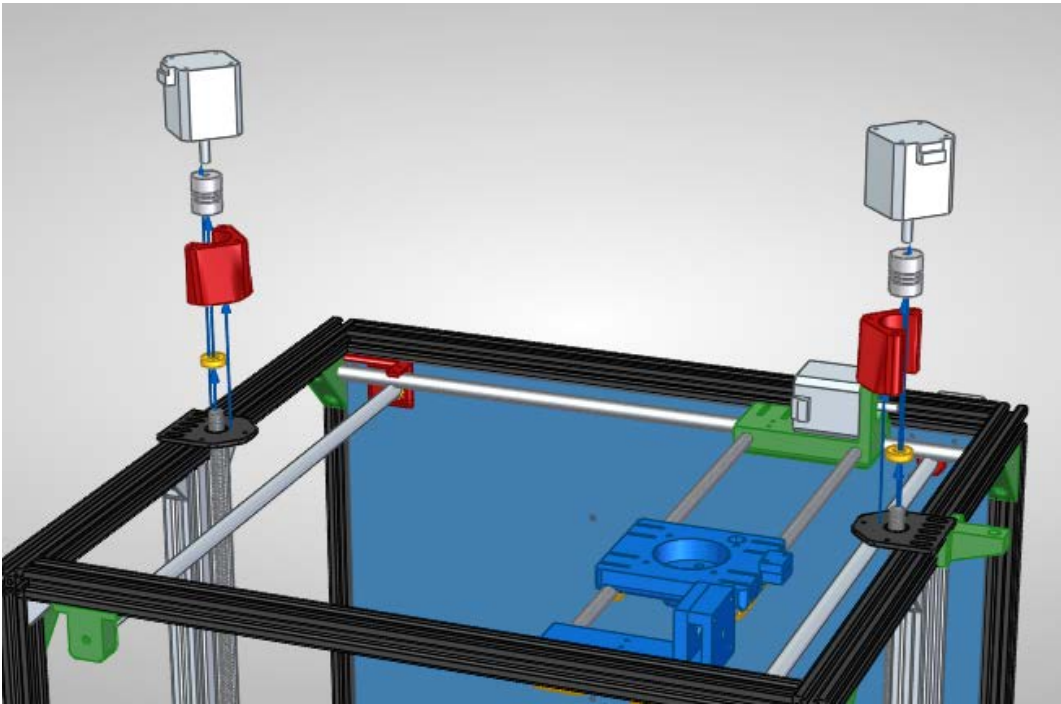
Fase	Descripción
7	<p data-bbox="371 304 1447 394">En este paso se cerrará la estructura, pero antes de esto tendremos que <u>dejar 2 tee nuts en la guía que se muestra.</u></p>  <p data-bbox="371 958 1447 1106">Tras asegurarnos de dejar los tee nuts, para el motor del extrusor, en la posición mencionada, colocamos el marco superior de la estructura con los soportes para los ejes de las correas del eje X en la posición frontal.</p> 

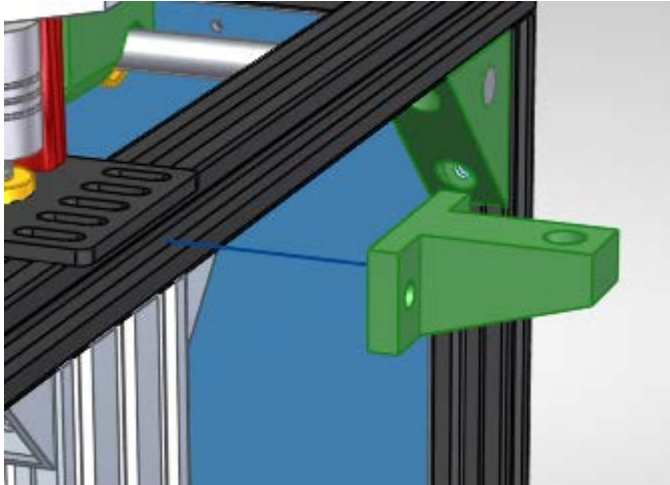
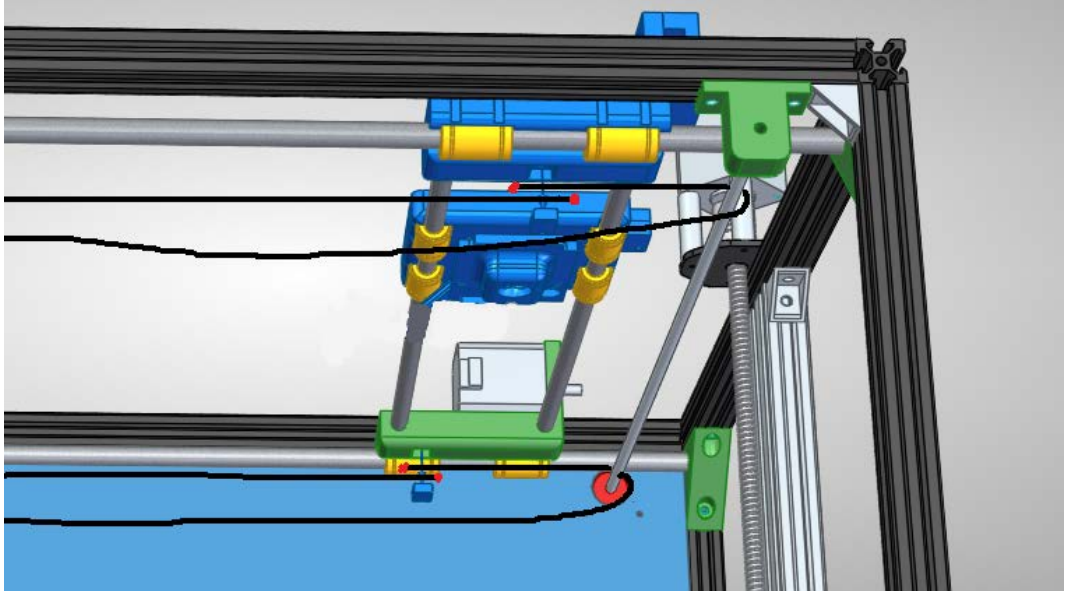
Fase	Descripción
8	<div data-bbox="375 302 1444 958"></div> <p data-bbox="375 1010 1444 1104">Colocamos el eje para la correa y su soporte con un rodamiento zz625 en la posición que se muestra. Se necesitarán 4 tornillos M3x10mm.</p> <p data-bbox="375 1160 1444 1249">Hacemos lo mismo con el otro eje, poniendo el acople rígido impreso y el separador del motor.</p> <div data-bbox="375 1303 1444 1467"></div> <p data-bbox="375 1523 1444 1617"><u>Recordar insertar en el eje las poleas dentadas tipo Gt2, antes de atornillar el motor en su sitio. Se necesitarán 4 tornillos M3x40mm.</u></p>

Fase	Descripción
	<div data-bbox="451 302 1364 795"></div> <p data-bbox="373 853 1445 1055">Unimos las varillas M8x400mm a los soportes de union entre los ejes X e Y, insertando previamente los rodamientos lineales LM8UU en las mismas, (habrá que golpear suavemente los soportes para introducir las varillas, se recomienda hacerlo con un martillo de goma).</p> <p data-bbox="296 1106 1445 1205">9 A continuacion se atornilla el motor paso a paso con su polea Gt2 en el eje y el cierre para el rodamiento zz608 con tornillos M3x10mm.</p> <p data-bbox="373 1256 1445 1355">Se une tambien el soporte para el extrusor y se posiciona todo sobre los rodamientos, fijandolos con bridas de 3X150mm.</p> <div data-bbox="451 1404 1364 1944"></div>

Fase	Descripción
10	<p data-bbox="438 300 1380 338">Por ultimo se unira la base y se situara en su posición en el eje Z.</p>  <p data-bbox="373 1070 1444 1328">La superficie de aluminio se unira a los perfiles con tornillos allen M5x10mm, tee nuts y muelles para su posible calibración. Como se muestra en la figura, se uniran los perfiles al igual que se hizo con la base de la impresora, fijando ademas a los laterales el “Universal Plate” y los “ACME Block”. <u>NOTA: Medida perfiles: 2 de 400mm y 2 de 468mm</u></p> 

Fase	Descripción
11	<div data-bbox="395 297 1422 936"></div> <p data-bbox="373 992 1445 1137">Como se puede ver en la figura anterior se ensamblan las ruedas, el tornillo M5x40mm se ha de pasar desde el interior hacia el exterior, como indican las flechas, terminado con tuerca autobloqueante.</p> <p data-bbox="373 1193 1445 1283">Se recomienda centrar la mesa y apoyar la misma en unos tacos, para facilitar su posicionamiento.</p> <div data-bbox="395 1339 1422 1904"></div>

Fase	Descripción
12	<p>Una vez situada la base fijaremos los “Rod Plate” a la estructura y pasaremos por ellos los husillos trapezoidales y los centraremos con unos rodamientos zz688, a continuación pondremos los acoples flexibles de aluminio, fijando el eje del motor y el husillo, la distancia la marcarán los separadores en cada motor. Por ultimo atornillaremos el motor con 3 tornillos M3x45mm.</p> 

Fase	Descripción
13	<p data-bbox="373 302 1444 394">Llegados a esta fase ya estaría montada la estructura totalmente, solo quedaria fijar el soporte para la guia del filamento. Y apretar las correas.</p> 
14	 <p data-bbox="373 1597 1444 1798">Se pasan las correas del eje X como se indica en la imagen, para esta tarea se recomienda ayuda, mientras uno tensa la correa el otro debe apretar los bloqueos de la misma al soporte con tornillos M3x30mm. De forma similar fijaremos la correa del eje Y.</p>

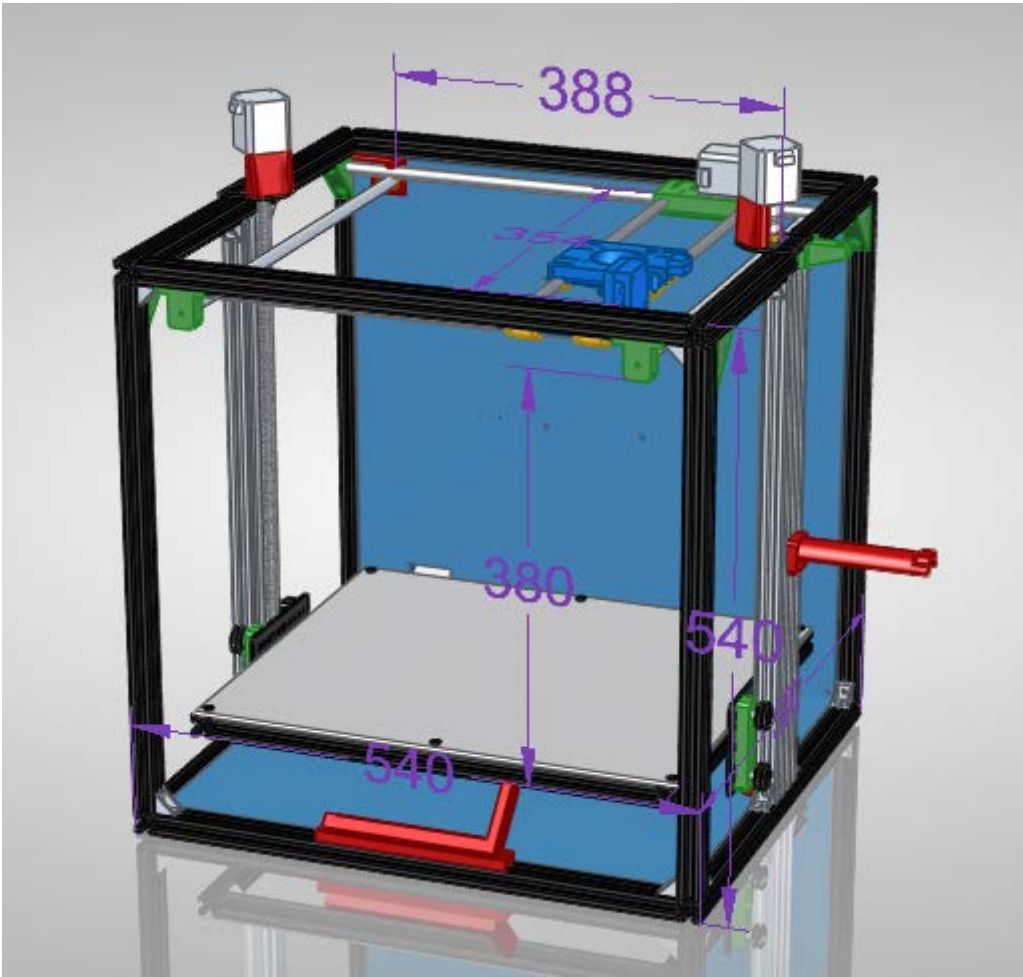
Fase	Descripción
15	<p>La última fase hace de nexo de unión entre la parte estructural y mecánica, y la parte electrónica. El modelo final es el presentado en la siguiente imagen. Una vez situados y conectados los finales de carrera, los cables de los motores, el extrusor y la cama caliente con sus correspondientes termistores a la shield RAMPS 1.4, tendremos preparada la impresora para cargar el firmware y poder calibrarla por primera vez.</p> <p>El volumen exterior es de 540x500x540 (LxAxAl o "X Y Z") y el interior es de 388x354x380, del cual se obtiene un volumen de impresión de 270x250x300.</p> 

Tabla 3.2.1.1 - Montaje estructural y mecánico.

3.2.2 Montaje eléctrico y electrónico

El montaje de la electrónica se describe de forma general con la intención de que pueda servir de guía de montaje para cualquier impresora con la siguiente electrónica de control:

- Arduino Mega 2560
- RAMPS 1.4
- LCD Smart Controller

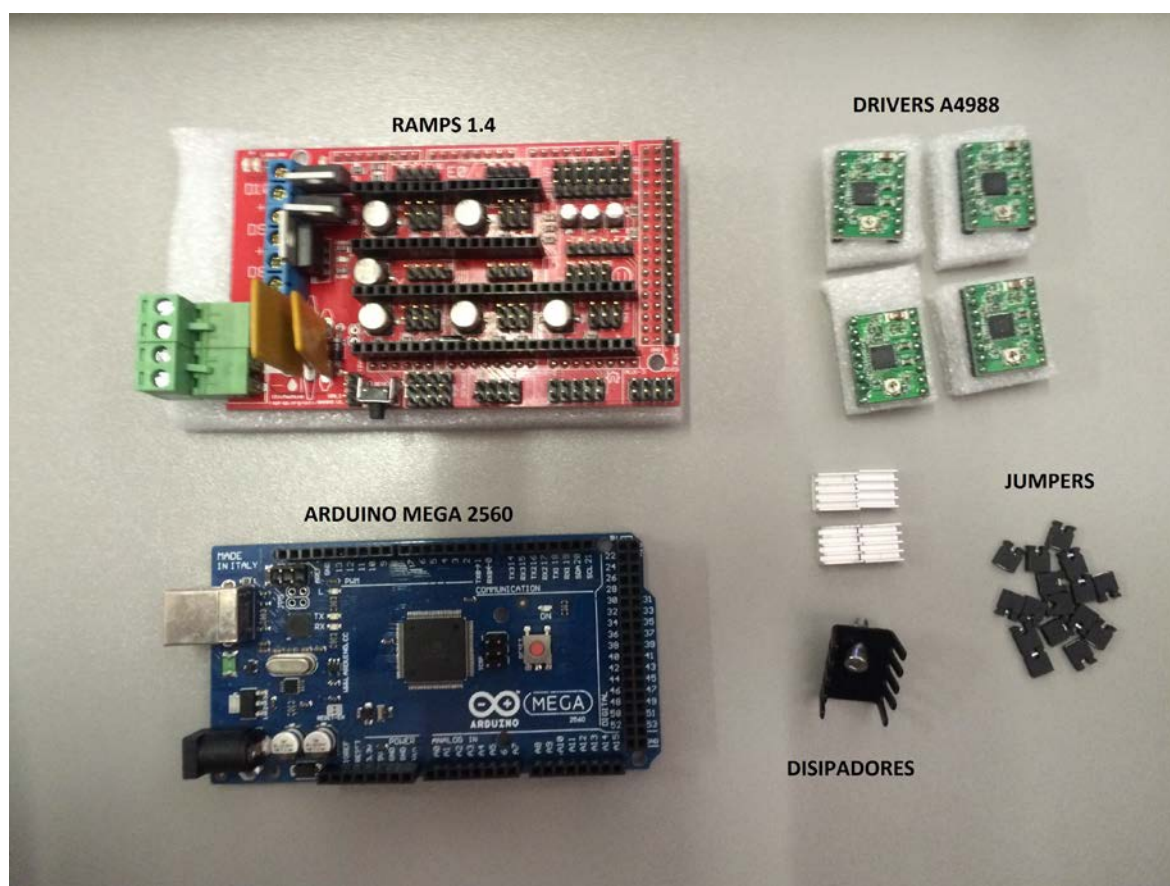


Ilustración 3.2.2.1 - Electrónica de control

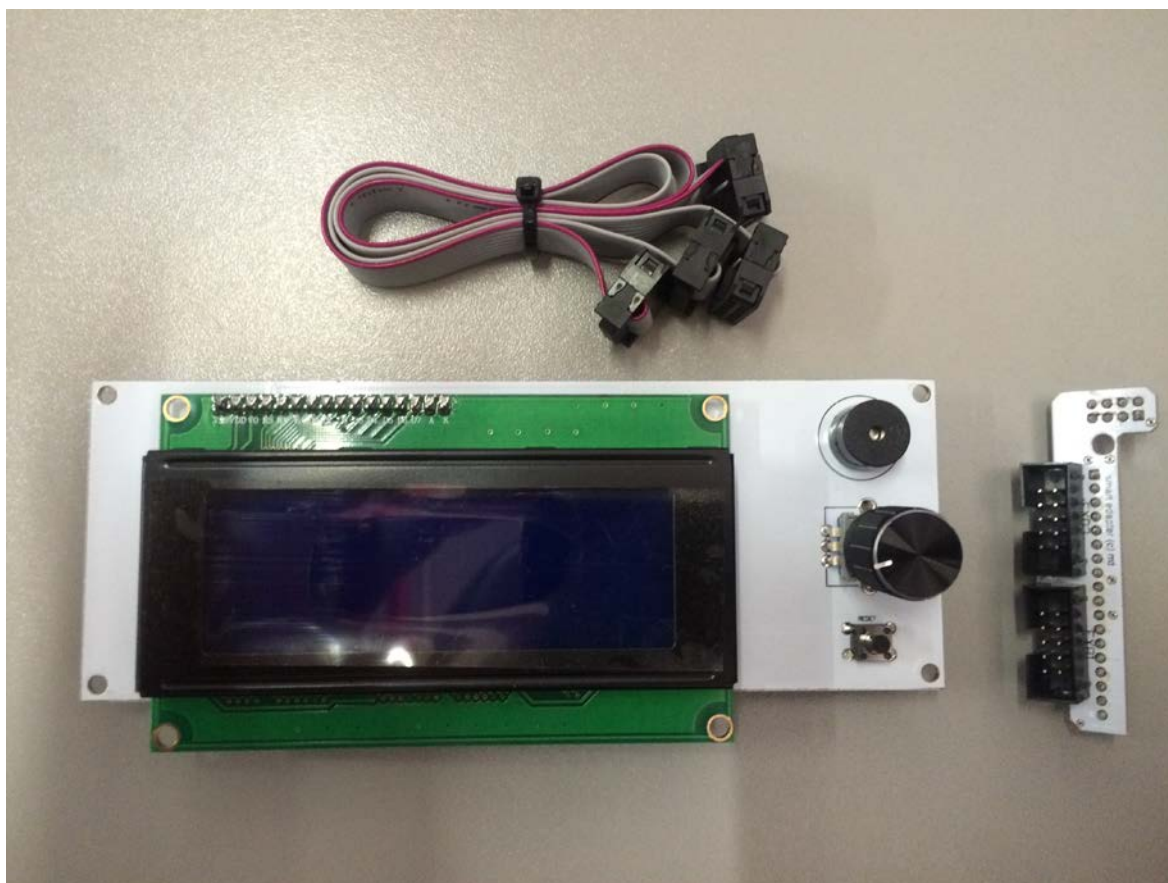


Ilustración 3.2.2.2 - LCD Smart Controller

En la siguiente ilustración se incluye a modo de resumen la conexión de los componentes, tener en cuenta que el código de colores de los cables de los motores puede variar, (imagen obtenida de: <http://www.spainlabs.com/foro/viewtopic.php?f=32&t=769>).

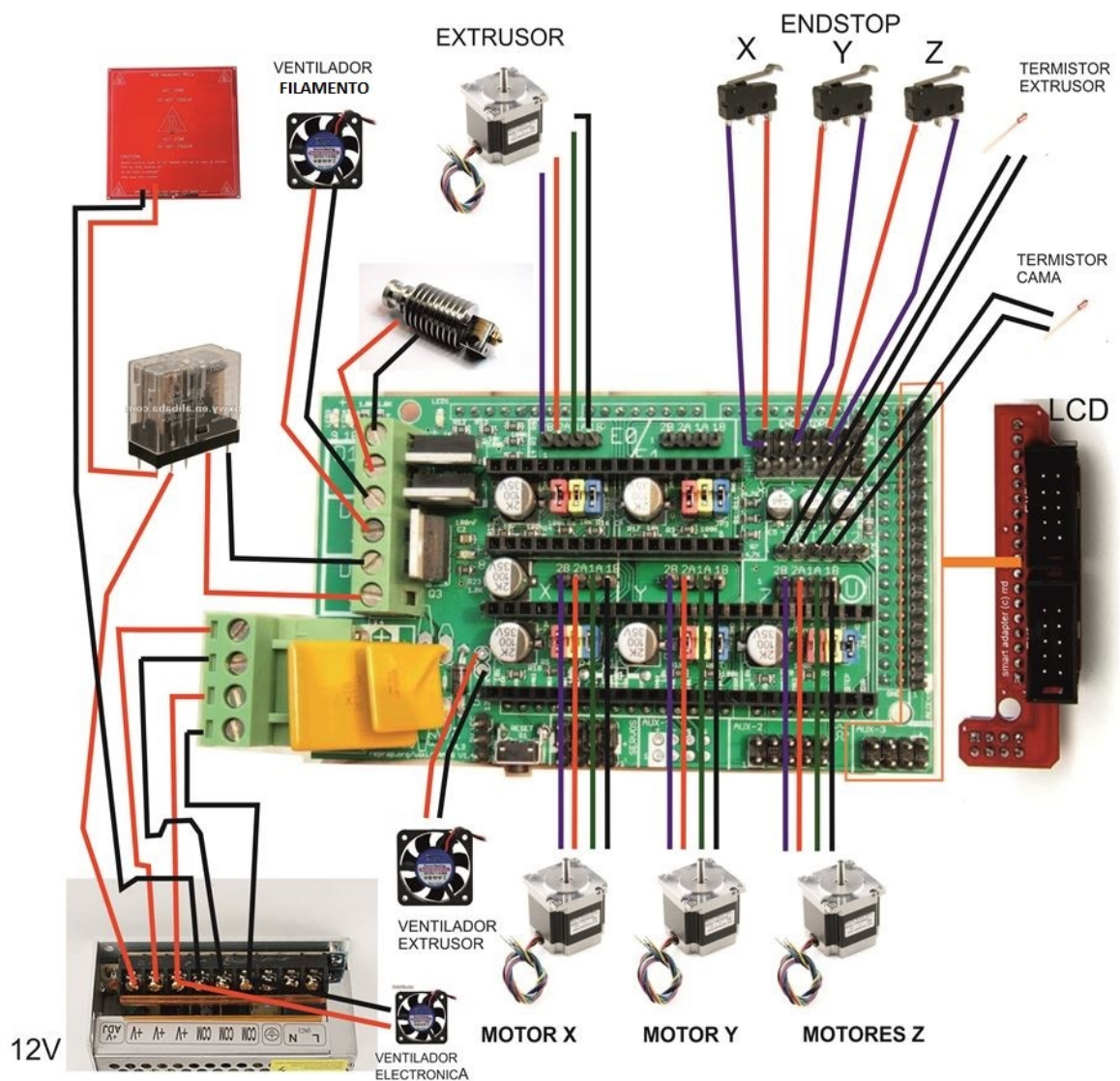
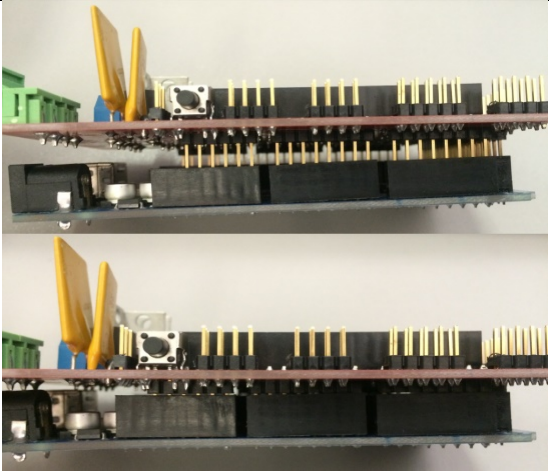
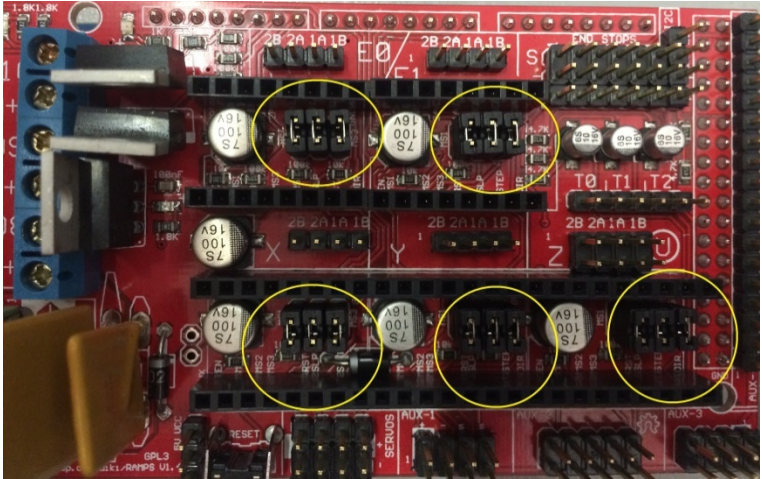
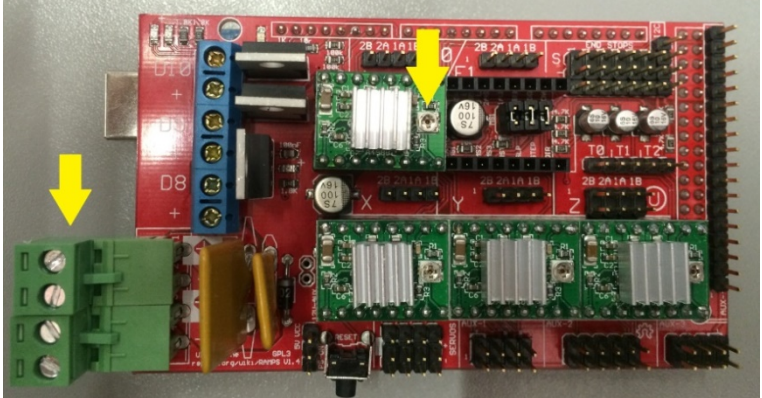
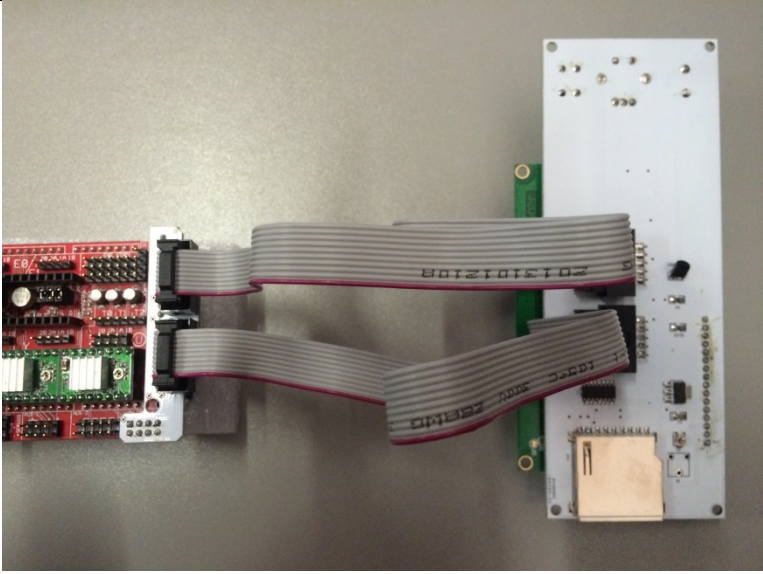

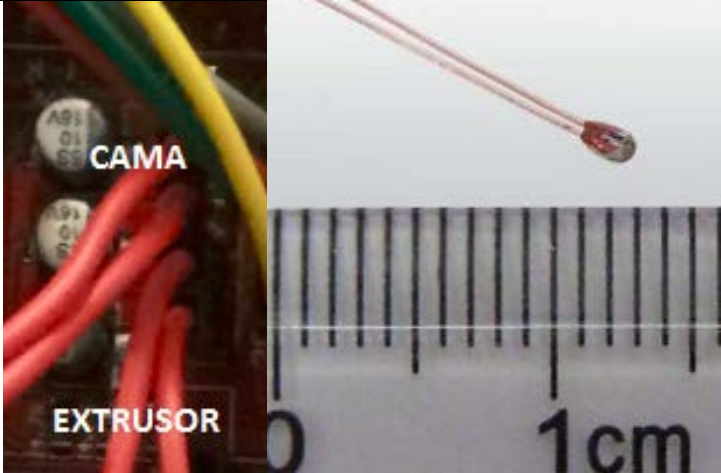
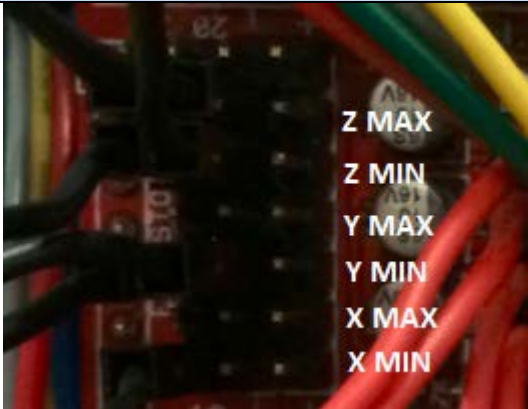
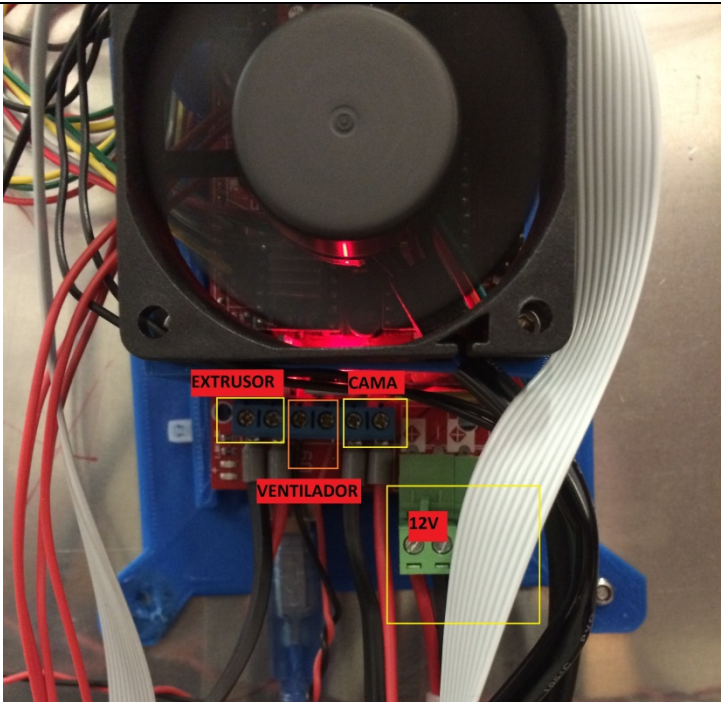


Ilustración 3.2.2.3 - Conexión general Ramps 1.4

El ensamblado y conexión de estos componentes se puede ver en la siguiente tabla:

Fase	Descripción	Imagen
1	En primer lugar se une el Arduino con la Ramps.	
2	<p>Se colocan los jumpers con la intención de conseguir la máxima precisión, dividiendo el paso de 1,8° del PaP entre 16.</p> <p>$1,8^\circ/16=0,1125^\circ$</p>	
3	<p>Insertamos los drivers A4988 para el control de los motores paso a paso.</p> <p>Los drivers y la placa vienen serigrafiados para conocer su relación de pines.</p>	 <p data-bbox="691 1800 1430 1877">Nota: Fijarse en el potenciómetro para su correcta colocación. En los drivers DRV8825 el potenciómetro va al revés.</p>

Fase	Descripción	Imagen
4	Conectamos el adaptador a la Ramps y los cables entre la Ramps y el LCD.	
5	Conectamos los motores paso a paso a la Ramps.	
6	Conectamos los sensores de temperatura.	

Fase	Descripción	Imagen
7	Conectamos los cuatro finales de carrera en XMIN, YMAX, ZMAX y ZMIN	
8	Conectamos el cartucho calentador del extrusor. Conectamos el ventilador de capa Conectamos la cama caliente.	

Fase	Descripción	Imagen
9	<p>Conectamos el ventilador para refrigerar el extrusor.</p> <p>Conectamos el ventilador de la electrónica a 12V.</p> <p>Conectamos la alimentación a 12V y la resistencia con el display para medir la corriente.</p>	
10	<p>La resistencia para medir la corriente se sitúa en el cable de masa en serie, como se muestra en el esquema</p>	

Tabla 3.2.2.1 - Montaje de la Electrónica

Tras seguir los pasos de la tabla tendremos la electrónica interconectada entre si y lista para ser calibrarla para nuestro modelo de impresora 3D en concreto.

3.2.3 Imágenes reales del montaje

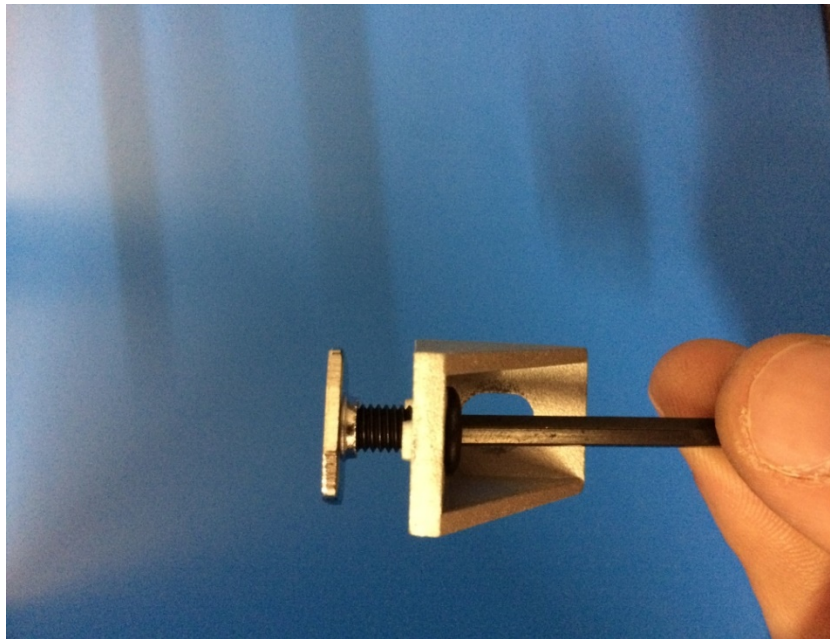


Ilustración 3.2.3.1 - Tee nut + Tornillo en la unión



Ilustración 3.2.3.2 - Montaje inicial de la estructura

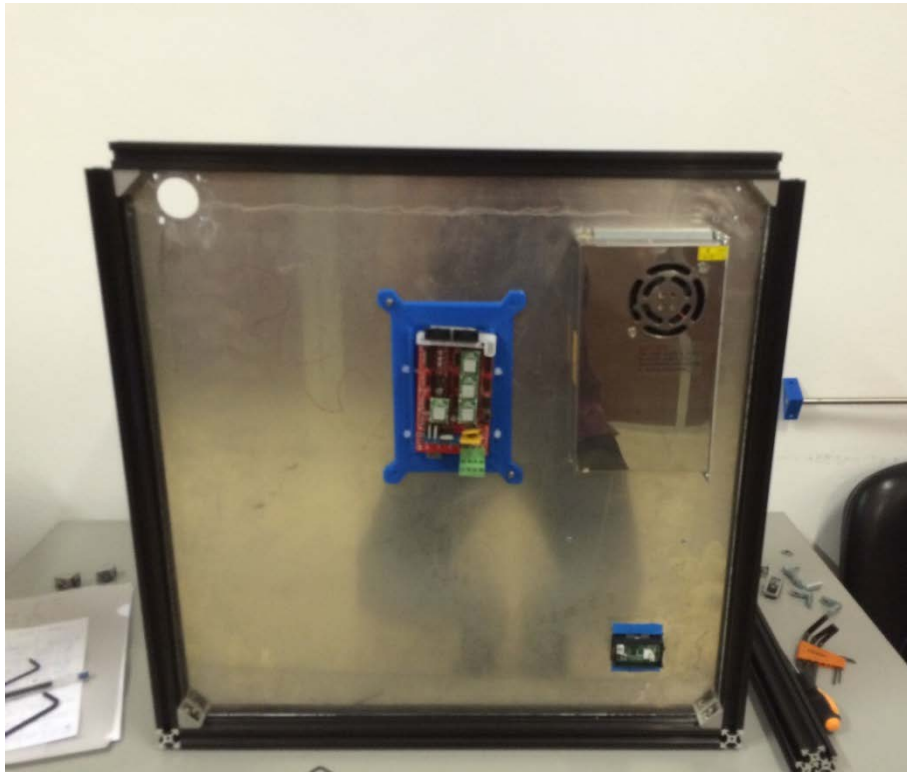


Ilustración 3.2.3.3 - Anclaje del Arduino y la fuente de alimentación



Ilustración 3.2.3.4 - Detalle motor del eje X

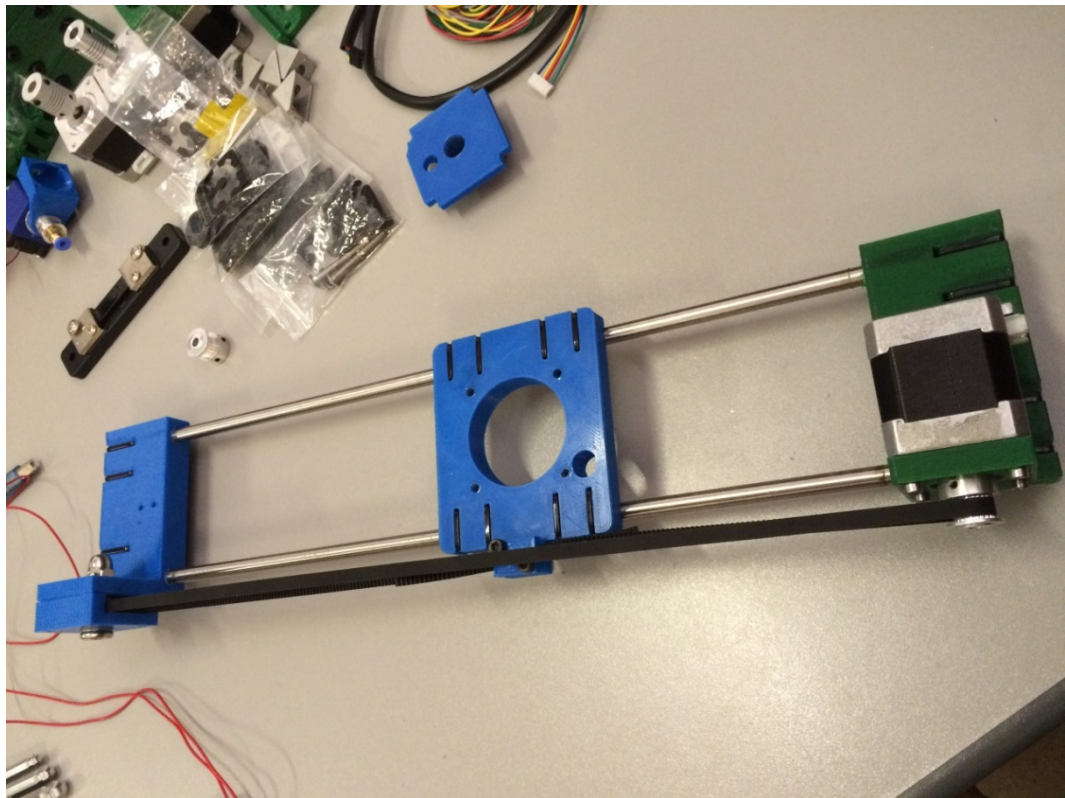


Ilustración 3.2.3.5 - Eje Y ensamblado

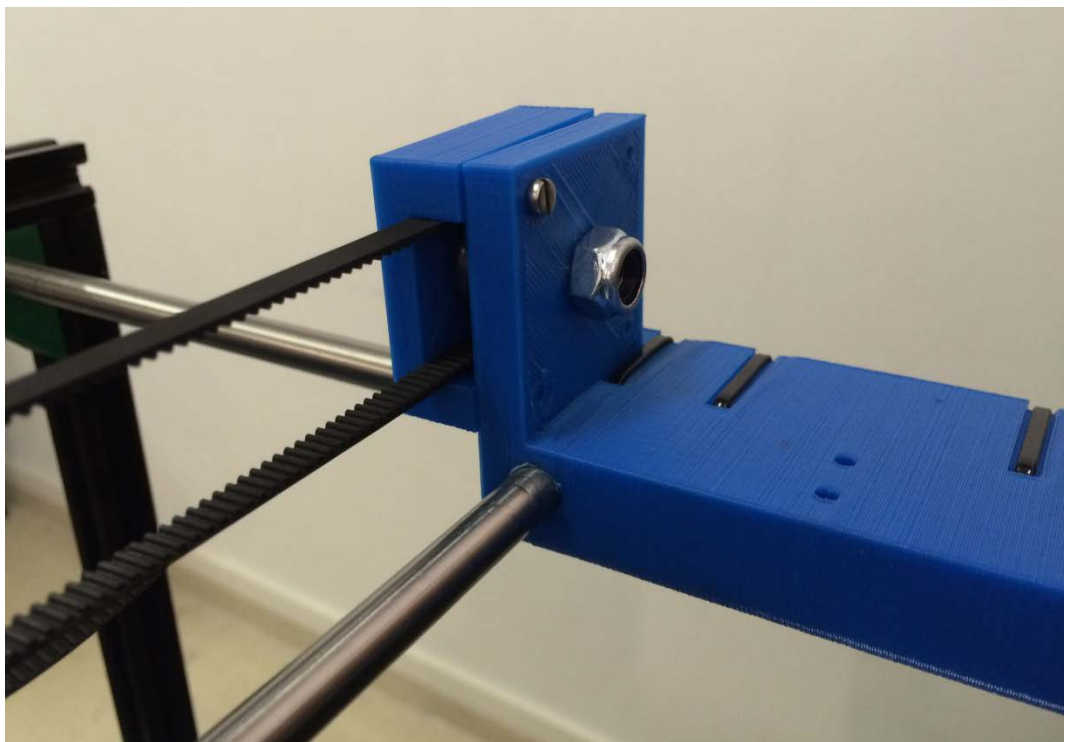


Ilustración 3.2.3.6 - Detalle polea eje Y

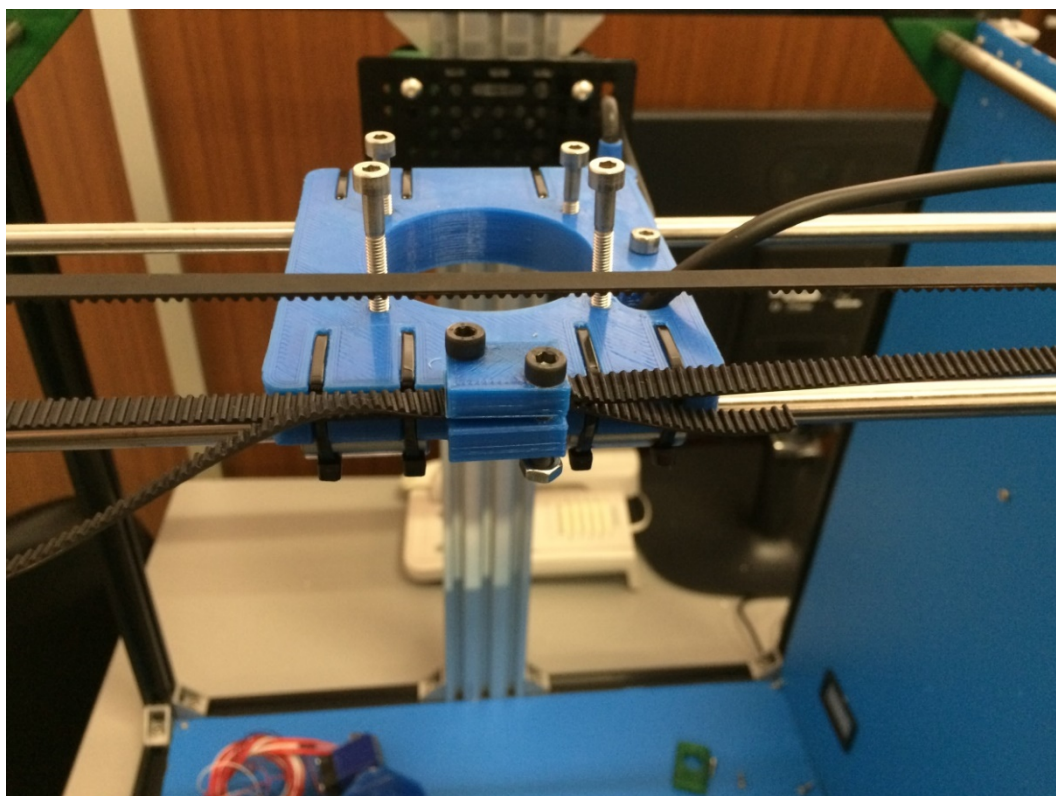


Ilustración 3.2.3.7 - Detalle tornillos sujeción extrusor

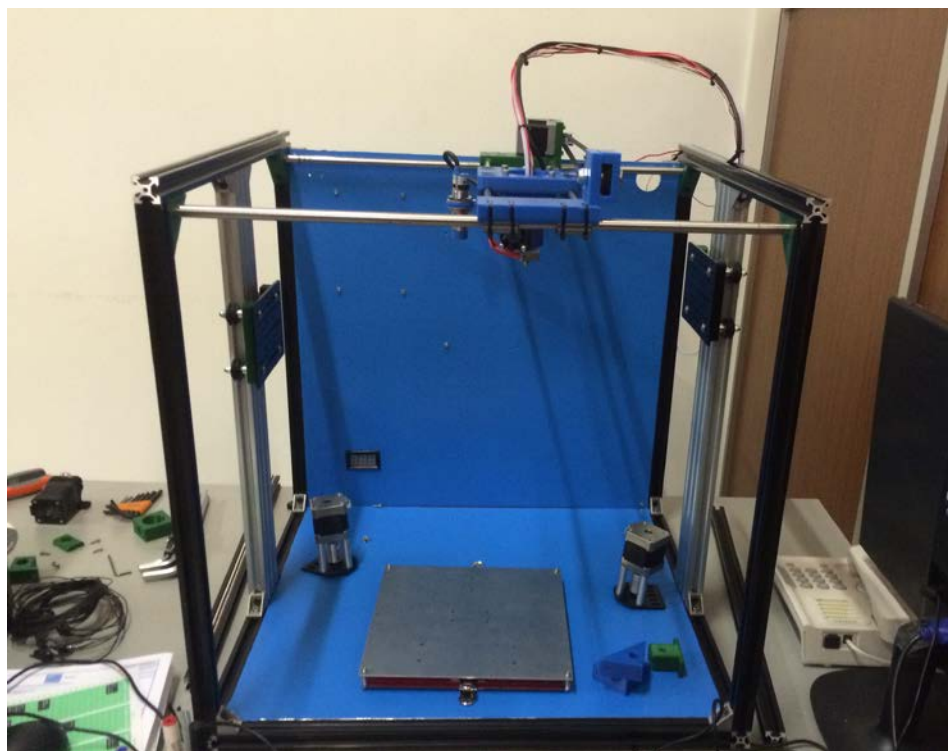


Ilustración 3.2.3.8 - Eje X e Y

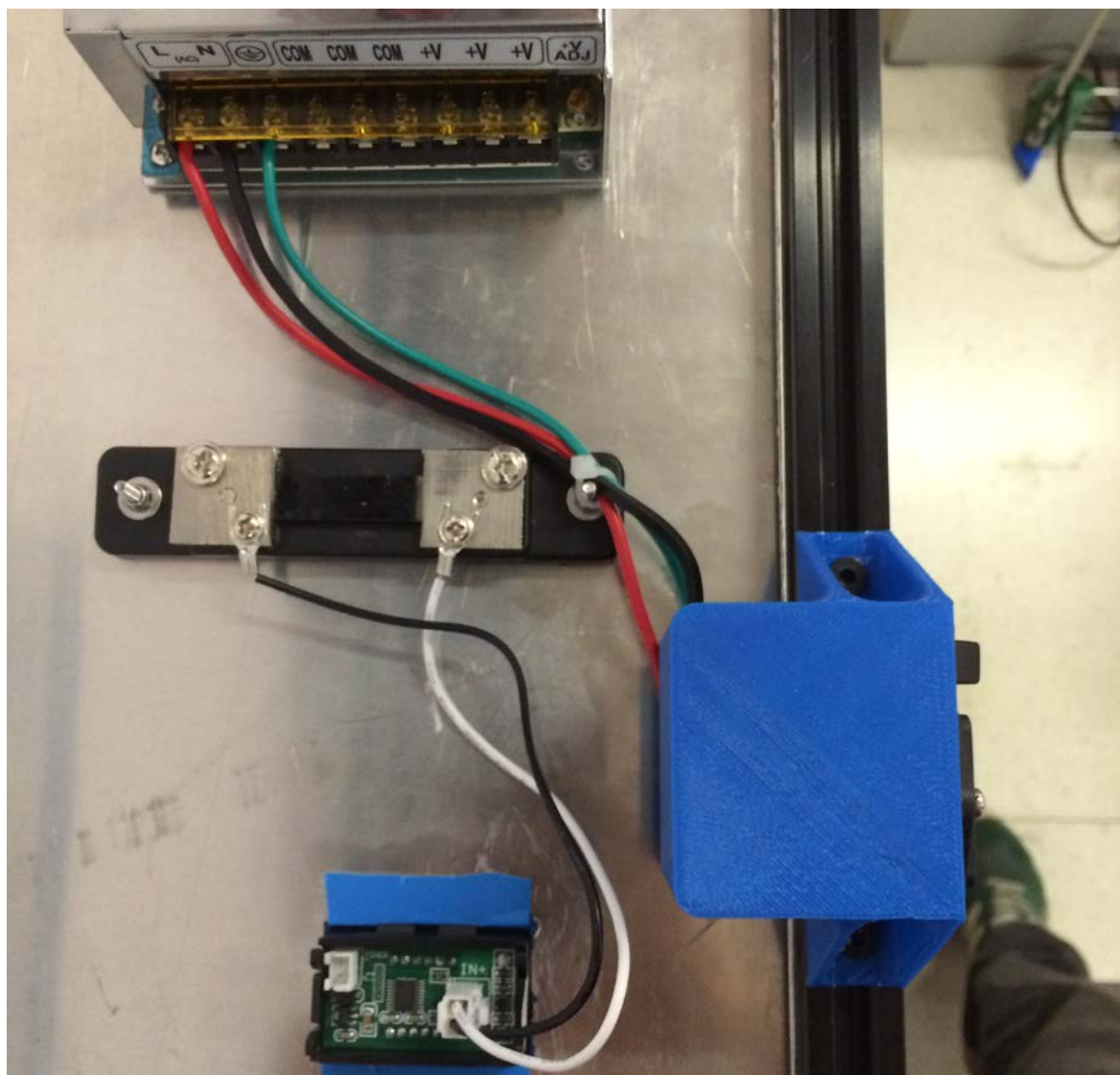


Ilustración 3.2.3.9 - Detalle bloque de alimentación

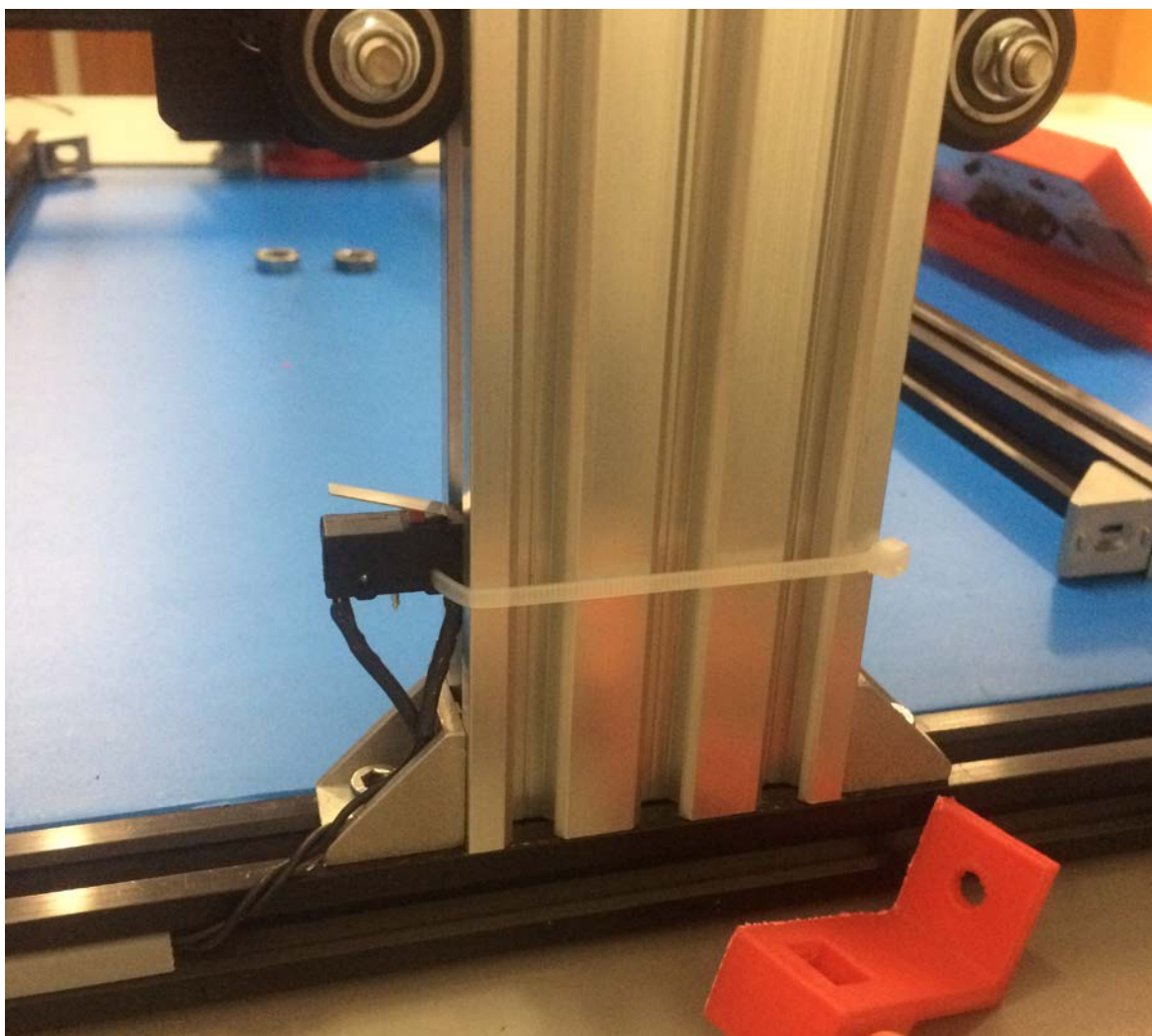


Ilustración 3.2.3.10 - Detalle final de carrera Z MAX

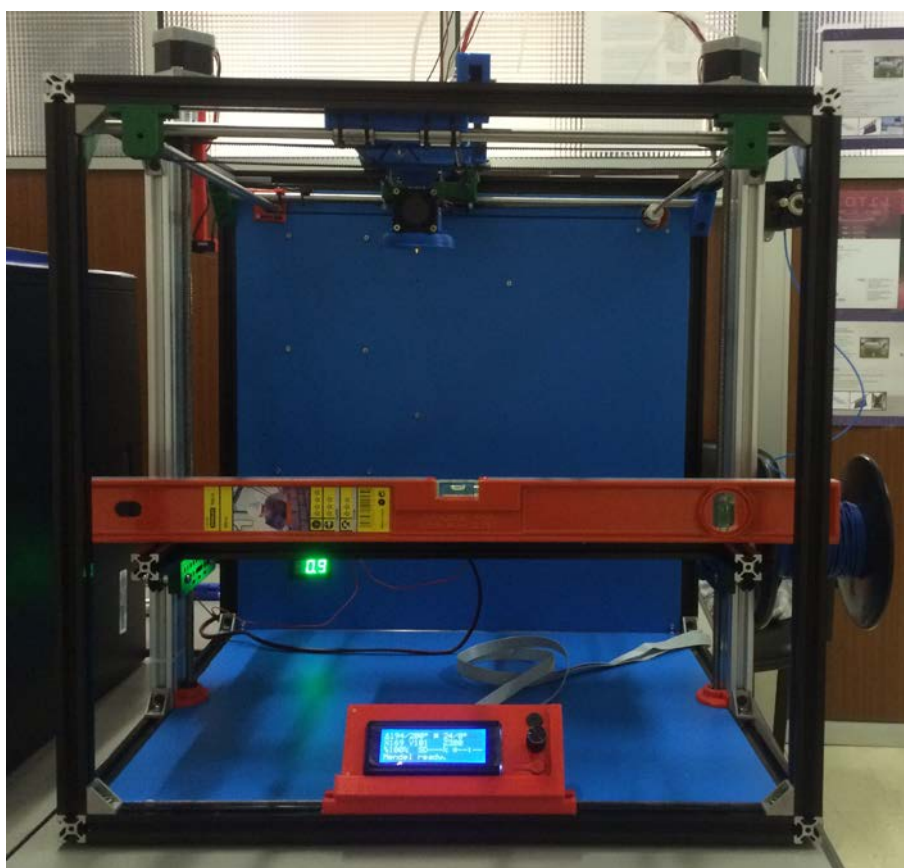


Ilustración 3.2.3.11 - Detalle nivelado inicial

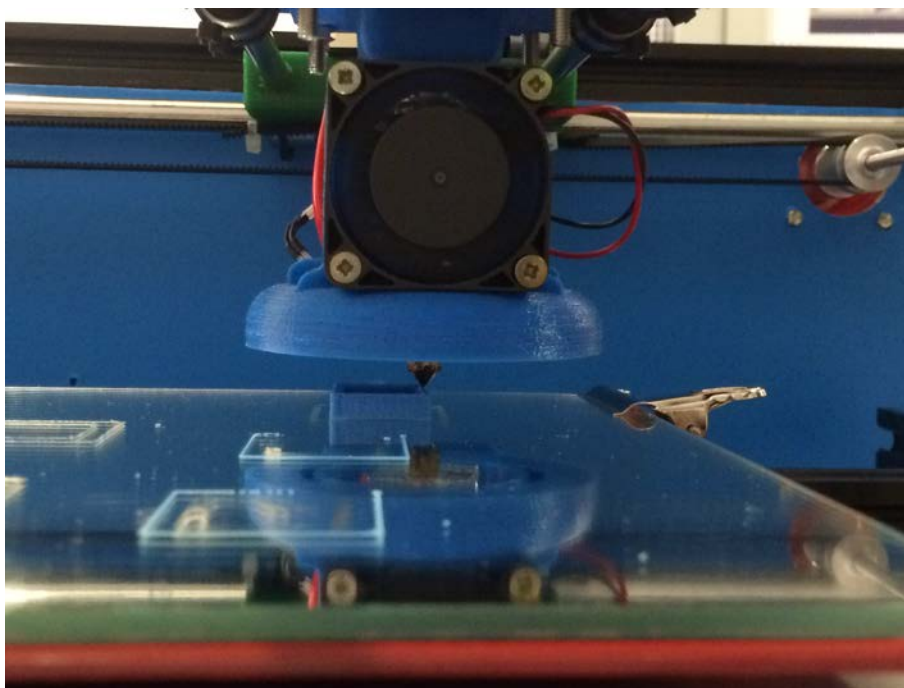


Ilustración 3.2.3.12 - Sexto cubo de calibración, el bueno

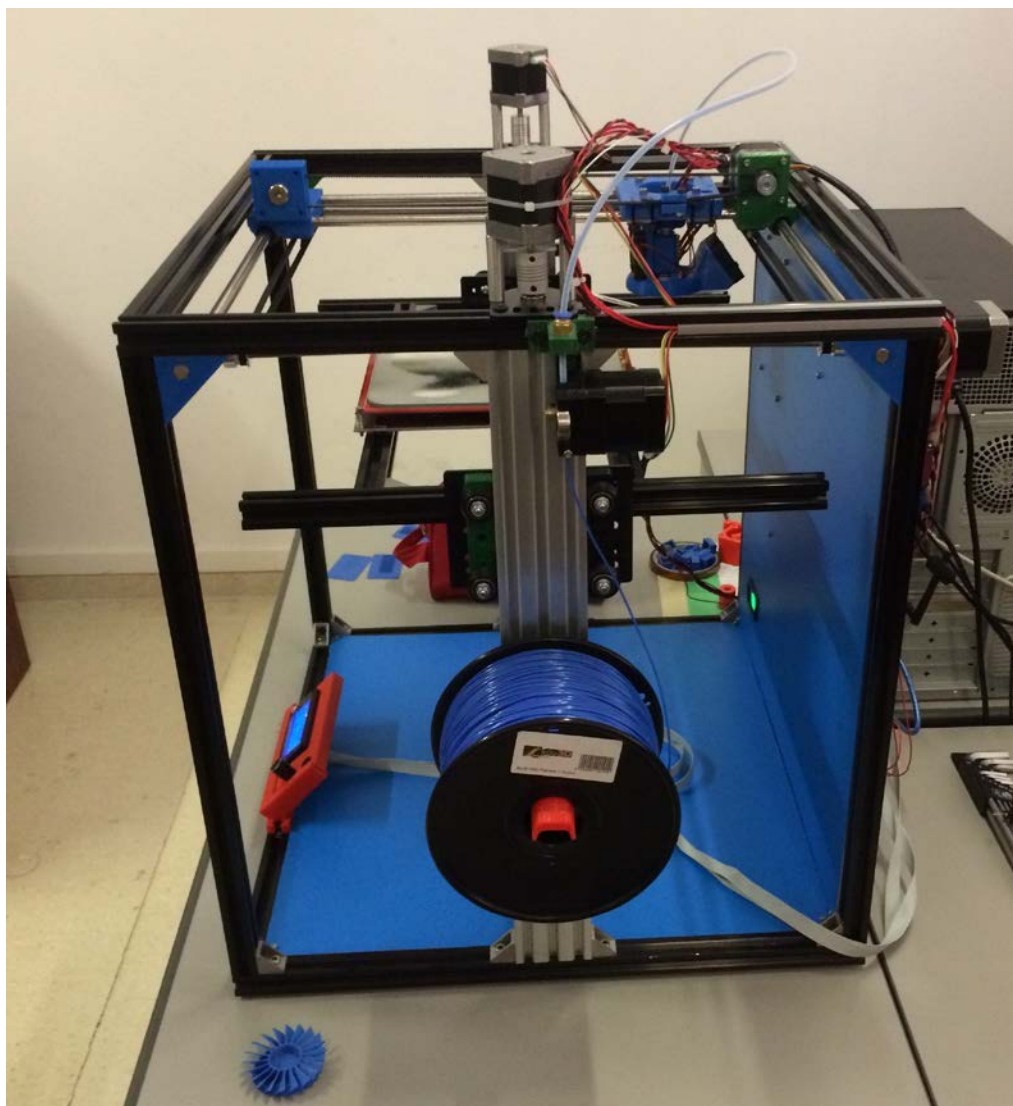


Ilustración 3.2.3.13 - Detalle bobina, extrusor y cableado

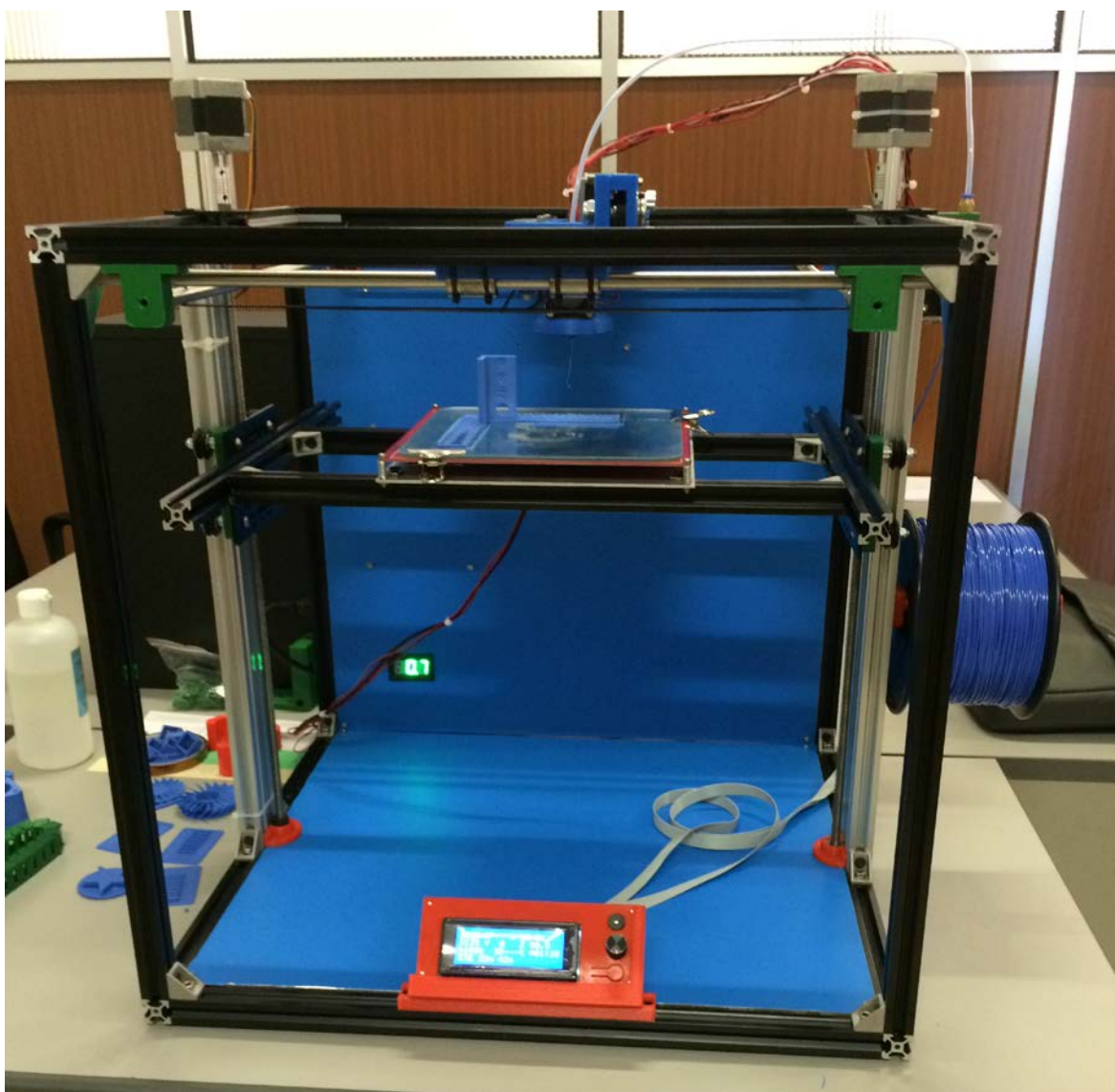


Ilustración 3.2.3.14 - Resultado final

3.2.4 Ajuste final y determinación del error

La calibración y puesta a punto de la impresora se hace en dos etapas.

La primera etapa (ajuste del firmware) consiste en ajustar los pasos que darán los motores para conseguir un movimiento lineal de 1 milímetro, así como sus velocidades y aceleraciones máximas, las cuales dependerán de la impresora a calibrar y de las guías lineales que utilice. En esta parte se determinará el movimiento mínimo y por lo tanto el error de impresión que vamos a tener.

En la segunda etapa (ajuste mecánico y eléctrico) se prepara la impresora para imprimir y se ajustará la altura de la base para realizar la primera impresión. Una vez realizada la primera impresión y viendo que es correcta se procederá a imprimir figuras de calibración para comprobar que el error determinado teóricamente es correcto.

3.2.4.1 Ajuste del firmware

El ajuste del firmware, en concreto de los parámetros que se muestran a continuación, se hará de forma práctica. Primero se calculará el número de pasos por unidad lineal y después se comprobará que es correcto.

```
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {80,80,1600,169.77}
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE {400, 400, 3, 35}
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION {1500,1500,100,10000}

#define DEFAULT_ACCELERATION 1000
#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 2000
```

Ilustración 3.2.4.1 - Parámetros de movimiento del firmware

Eje X e Y: Ambos ejes cuentan con un sistema de correas y poleas Gt2 de 20 dientes y 2mm de paso, por lo tanto el cálculo es el mismo para ambos. El movimiento dependerá del número de dientes de la correa, en una vuelta de polea el desplazamiento lineal será igual al número de dientes por el paso.

$$\frac{\text{Desplazamiento Lineal}}{\text{Vuelta}} = n^{\circ} \text{dientes} * \text{paso} = 20 * 2\text{mm} = 40\text{ mm}$$

Ecuación 3.2.4.1 - Desplazamiento lineal por vuelta eje X e Y

Teniendo en cuenta que nuestros motores PaP son de 200 pasos por vuelta y los drivers A4988 pueden subdividir estos pasos 16 veces, tenemos:

$$\text{Resolucion eje X y Y} = \frac{\frac{\text{Desplazamiento Lineal}}{\text{Vuelta}}}{\text{Pasos Motor} * \text{Multiplicador A4988}} = \frac{40\text{ mm}}{200 * 16} = 0,0125\text{ mm}$$

Ecuación 3.2.4.2 - Resolución eje X e Y

De lo cual obtenemos.

$$N^{\circ} \text{pasos por milímetro} = \frac{1}{0,0125} = 80 \text{ Pasos}$$

Ecuación 3.2.4.3 - Pasos para un milímetro eje X e Y

En el caso de utilizar otros drivers como los DRV8825 que pueden dividir los pasos por 32, simplemente tendremos que duplicar estos valores para utilizarlos.

Eje Z: En este caso el movimiento lineal de la base dependerá del paso del husillo, en este caso un husillo Tr8x2.0, en una vuelta el desplazamiento lineal es de 2mm.

Por lo tanto, al igual que antes:

$$Resolucion\ eje\ Z = \frac{\frac{DesplazamientoLineal}{Vuelta}}{PasosMotor * MultiplicadorA4988} = \frac{2\ mm}{200 * 16} = 0,000625\ mm$$

Ecuación 3.2.4.4 - Resolución eje Z

De lo cual obtenemos.

$$N^o\ pasos\ por\ milimetro = \frac{1}{0,000625} = 1600\ Pasos$$

Ecuación 3.2.4.5 - Pasos para un milímetro eje Z

Extrusor: En el caso del extrusor el desplazamiento depende de la polea dentada que se utilice. Esta transmitirá el movimiento directamente al filamento, por lo que su perímetro determinará el número de pasos necesarios para conseguir desplazar el filamento un milímetro.

Tras medir la polea dentada con un calibre se determina que el diámetro aproximado es de 6mm.

$$Perimetro\ Polea = \pi * 6mm = 18,849\ mm$$

Ecuación 3.2.4.6 - Perímetro polea extrusor

$$Resolucion\ extrusor = \frac{\frac{DesplazamientoLineal}{Vuelta}}{PasosMotor * MultiplicadorA4988} = \frac{18,849\ mm}{200 * 16} = 0,00589\ mm$$

Ecuación 3.2.4.7 - Resolución extrusor

De lo cual obtenemos.

$$N^o\ pasos\ por\ milimetro = \frac{1}{0,00589} = 169,77\ Pasos$$

Ecuación 3.2.4.8 - Pasos para un milímetro extrusor

3.2.4.2 Ajuste mecánico

El ajuste mecánico se puede dividir en 4 partes fundamentales:

- Engrasado de guías lineales.
- Apriete de correas.
- Ajuste manual de la base.

Engrasado de guías lineales: Para poder conseguir piezas con el mínimo rizado en las paredes exteriores se debe reducir la vibración en lo posible. Por este motivo las guías lineales tienen que estar correctamente centradas y engrasadas.

En cuanto al centrado, la estructura así como las piezas impresas para dar soporte a las guías están pensadas para mantenerse centradas desde su ensamblado por primera vez. Por este motivo la mayor parte de las vibraciones estarán provocadas por los propios rodamientos.

Se deben engrasar todas las partes móviles al menos una vez al mes, con la intención de minimizar el rizado.

Apriete de correas: Parte fundamental del ajuste mecánico. La verticalidad de las piezas depende directamente de esta configuración. Como se menciona en el anexo de montaje, dos personas deben realizar esta tarea, mientras uno tensa la correa, el otro debe apretar el bloqueo de la misma. Se recomienda el uso de tensores para asegurar el correcto funcionamiento de esta parte.

Ajuste de la base: La base es sin duda la parte más importante de todo el ajuste mecánico, de ella depende la adhesión de la pieza. El procedimiento para calibrarla es el siguiente:

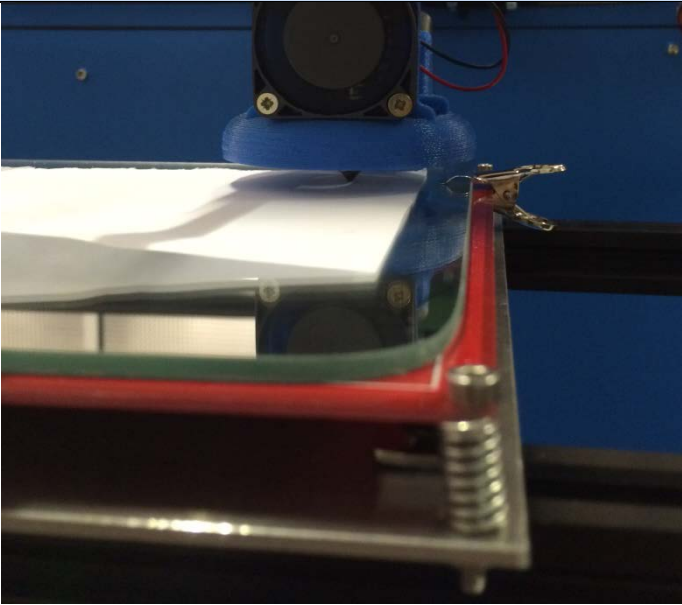
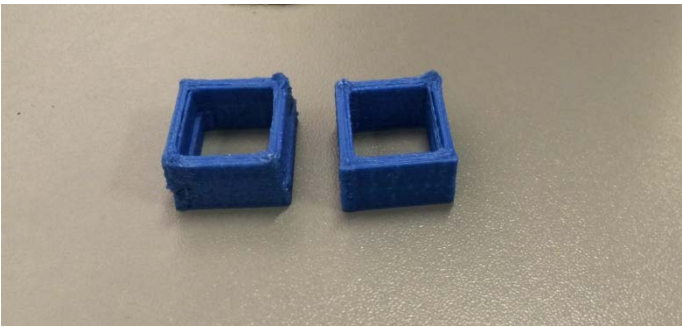
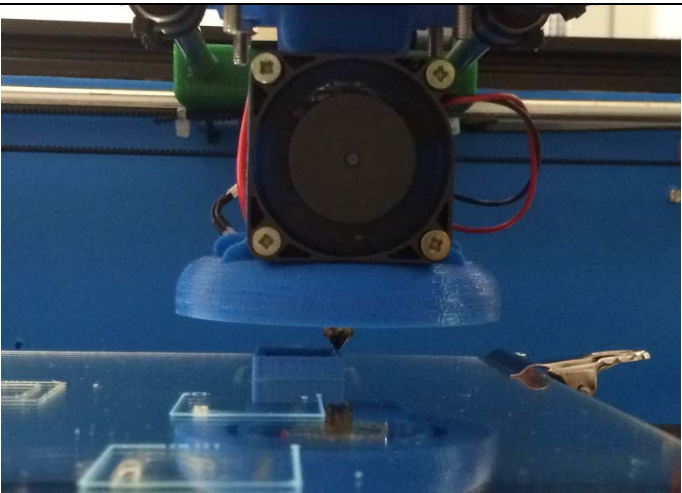
Paso	Descripción	Imagen
1	<p>Se acerca el extrusor a 0,1mm de la base, aproximadamente un folio, y ajustamos los tornillos.</p> <p>Repetir en varios puntos de la mesa.</p>	
2	<p>Se imprimen cubos de calibración.</p> <p>También se pueden imprimir otras figuras de dimensiones conocidas.</p>	
3	<p>Repetimos el paso 1 hasta conseguir óptimos resultados en el paso 2.</p>	

Tabla 3.2.4.1 - Ajuste cama caliente

3.2.4.3 Ajuste eléctrico

El ajuste eléctrico consiste en limitar la corriente que circula por los motores PaP. Los motores PaP elegidos para la impresora permiten una corriente máxima de 1,5 A. Se considera suficiente limitar la corriente máxima entre un 75 a 85% de esta corriente.

Ajuste de la corriente máxima: Para ajustar la corriente máxima debemos medir entre el potenciómetro del A4988 y masa como vemos en la siguiente imagen.

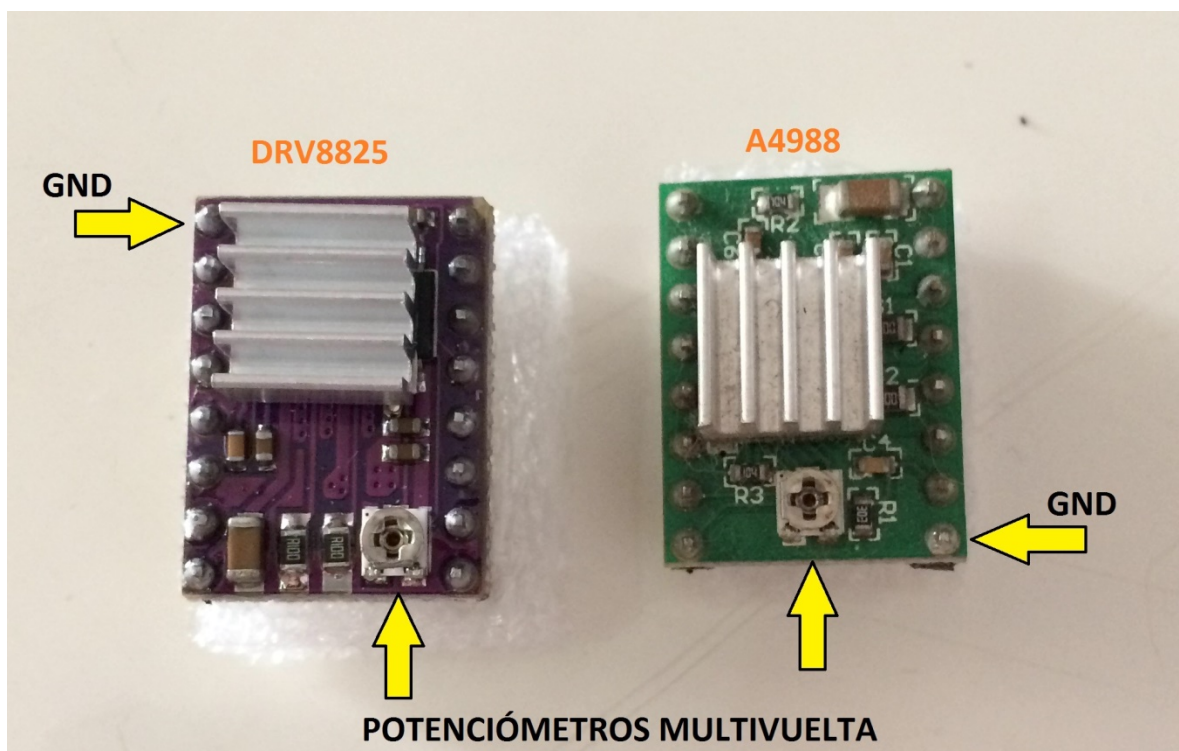


Ilustración 3.2.4.2 - Medir corriente en los drivers de los motores

En la página 9 de las hojas de características del A4988 nos dice que:

$$I_{TripMAX} = \frac{V_{Ref}}{8 * R_S}$$

Ecuación 3.2.4.9 - Calculo corriente máxima A4988

Donde R_s tiene un valor de $0,05\Omega$ siendo las resistencias conectadas a los pines Sense1 y 2 del A4988, como se puede ver en el siguiente esquema.

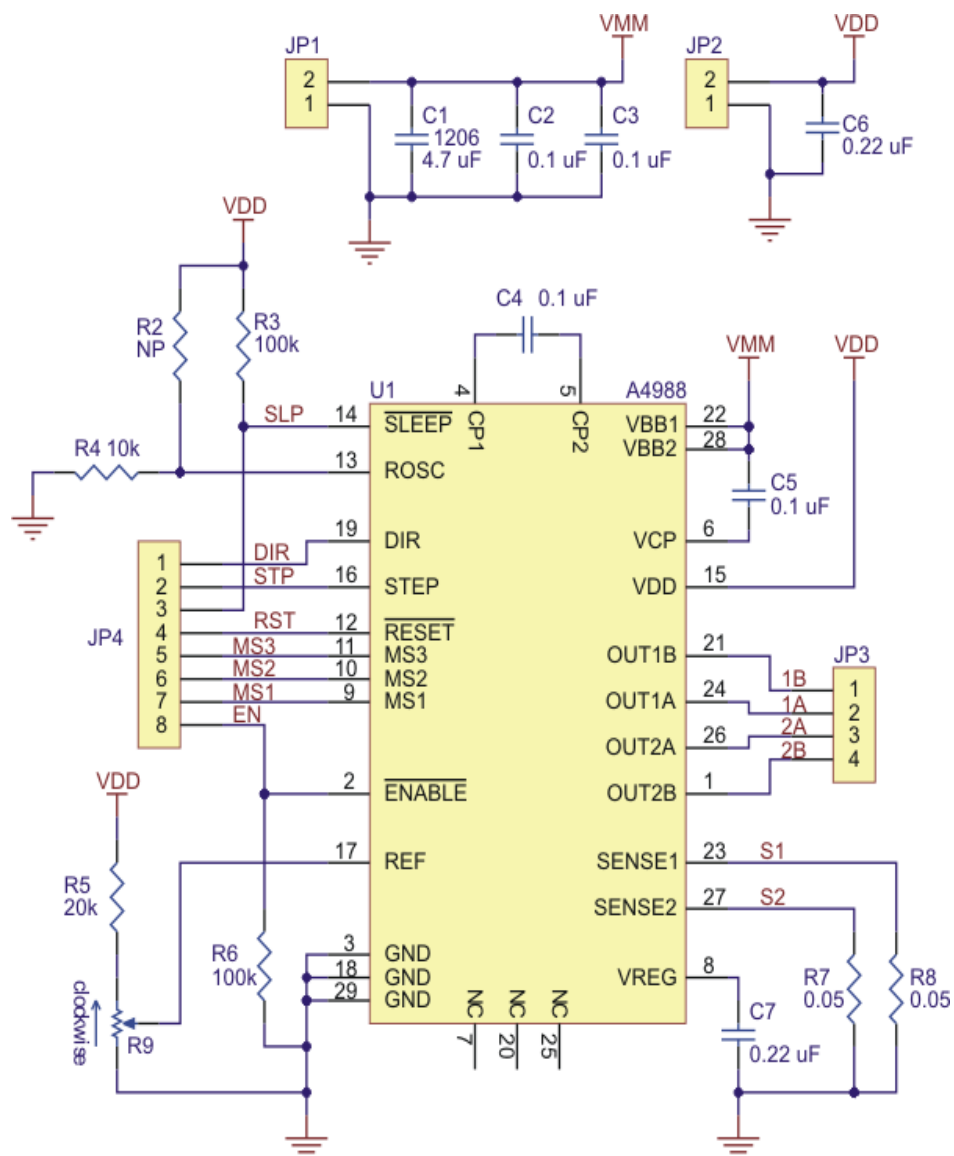


Ilustración 3.2.4.3 - Esquema driver A4988

En el caso de utilizar drivers DRV8825 el cálculo es similar (pág. 12 datasheet):

$$I_{CHOP} = \frac{V_{Ref}}{5 * R_{ISENSE}}$$

Ecuación 3.2.4.10 - Calculo corriente máxima DRV8825

En este caso las resistencias tienen un valor de $0,01\Omega$ como vemos en la ilustración 29.

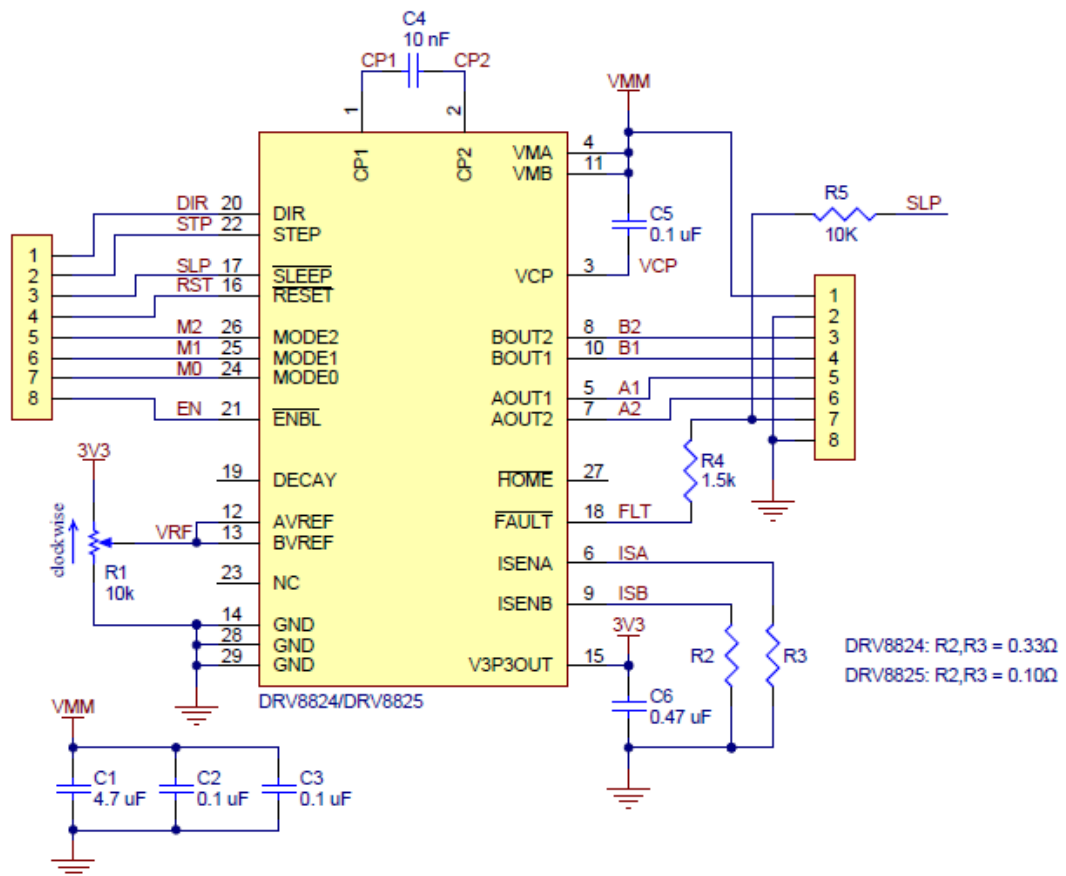


Ilustración 3.2.4.4 - Esquema driver DRV8825

Por lo tanto obtenemos unos rangos de valores para corrientes entre el 75 y 85% de la máxima (1,5A):

MODELO	ECUACION	MIN (75%)	MAX (85%)
A4988	$V_{Ref} = \frac{I_{MAX}}{2,5}$	0,45 V	0,7 V
DRV8825	$V_{Ref} = \frac{I_{MAX}}{1,25}$	0,9 V	1,4 V

Tabla 3.2.4.2 - Rangos de tensión drivers

3.2.5 Configuración del firmware

Teniendo instalado el software Arduino IDE en nuestro ordenador procedemos a abrir el firmware Marlin cliqueando dentro de la carpeta del firmware en Marlin.ino, como se puede ver en la siguiente imagen:

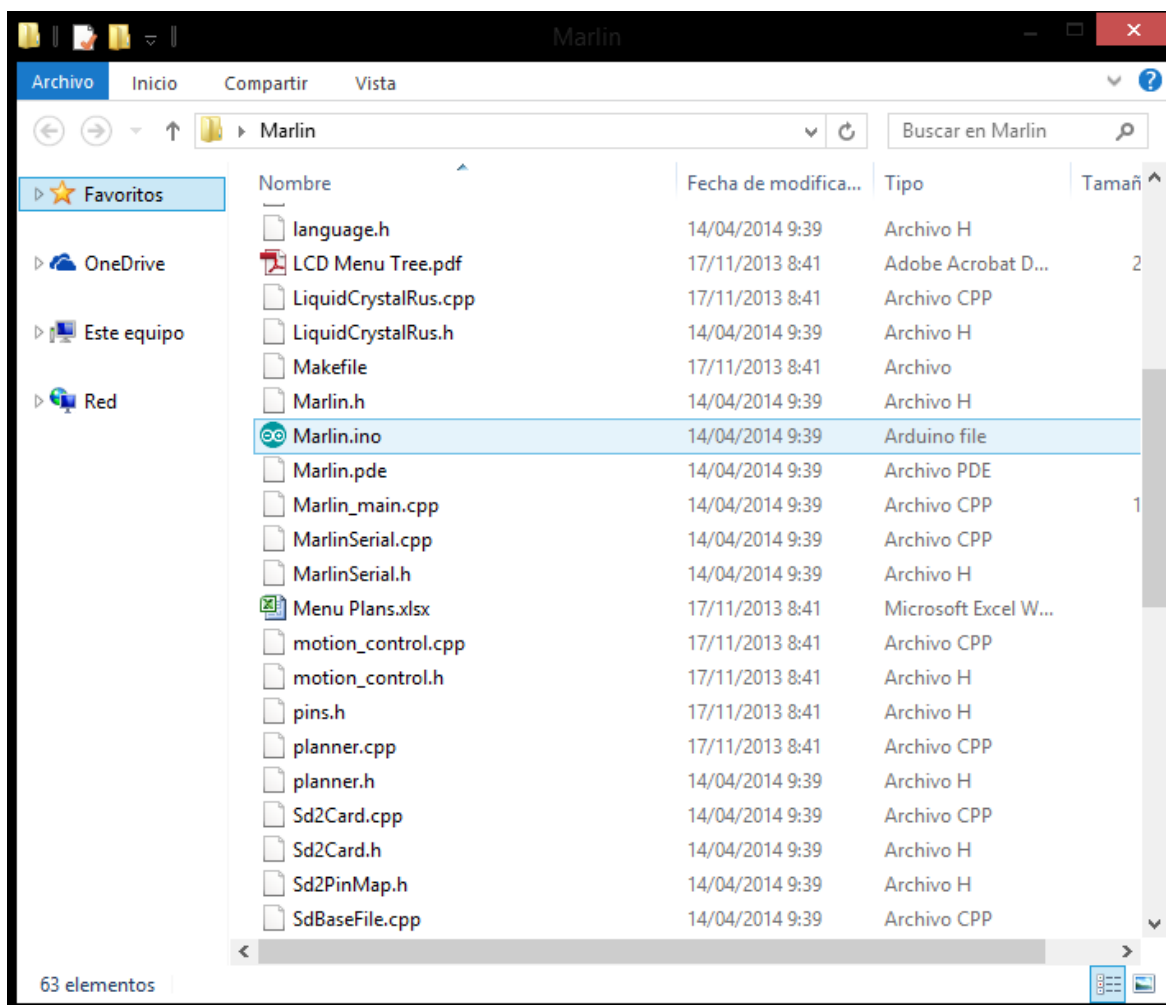


Ilustración 3.2.5.1 - Abrir Marlin para su edición.

Para poder cargar el firmware Marlin en el Arduino tendremos que hacer las siguientes modificaciones en la pestaña "configuration.h".



```
#ifndef CONFIGURATION_H
#define CONFIGURATION_H

// This configuration file contains the basic settings.
// Advanced settings can be found in Configuration_adv.h
// BASIC SETTINGS: select your board type, temperature sensor type, axis scaling, and endstop

//=====
//===== DELTA Printer =====
//=====
// For a Delta printer replace the configuration files with the files in the
// example_configurations/delta directory.
//

// User-specified version info of this build to display in [Pronterface, etc] terminal window
// startup. Implementation of an idea by Prof Braino to inform user that any changes made to
// build by the user have been successfully uploaded into firmware.
#define STRING_VERSION_CONFIG_H __DATE__ "V1.0" __TIME__ // build date and time
#define STRING_CONFIG_H_AUTHOR "(Armada Pita, David, Configuracion EUP)" // Who made the changes

// SERIAL_PORT selects which serial port should be used for communication with the host.
// This allows the connection of wireless adapters (for instance) to non-default port pins.
// Serial port 0 is still used by the Arduino bootloader regardless of this setting.
#define SERIAL_PORT 0

// This determines the communication speed of the printer
#define BAUDRATE 250000
```

Ilustración 3.2.5.2 - Configuration.h

En el caso de usar un módulo de pantalla LCD + Encoder, por ejemplo, muchos de los parámetros configurables podrán ser editados desde el menú de configuración.

Marlin LCD Menu Tree (V1)

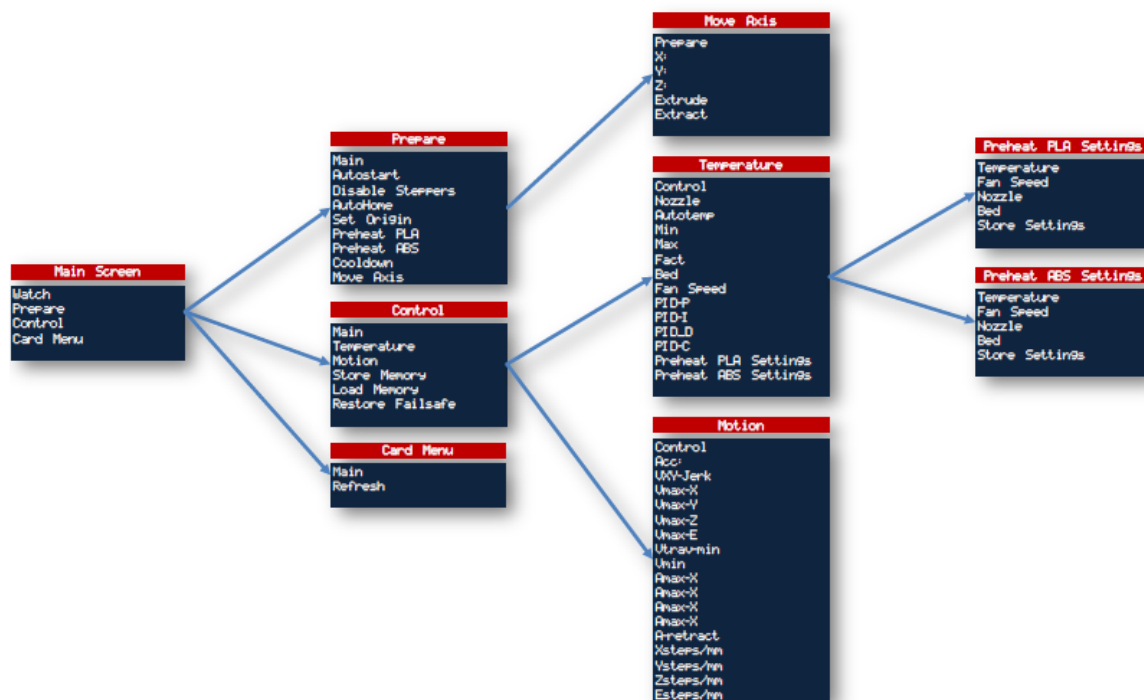


Ilustración 3.2.5.3 - Árbol de menú LDC Marlin

En la siguiente tabla se describe la configuración inicial del firmware, solo se muestran las líneas que se necesitan modificar:

Fase	Descripción	Parámetros a modificar
1	Definimos el tipo de electrónica de control a utilizar. En nuestro caso el número 33→ Ramps 1.4 extrusor-ventilador-cama.	<pre>// The following define selects which electr // Please choose the name from boards.h that #ifndef MOTHERBOARD #define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_13_EFB #endif</pre>
2	Decidimos el número de extrusores a utilizar y el tipo de fuente de alimentación, normalmente ATX.	<pre>// This defines the number of extruders #define EXTRUDERS 1 //// The following define selects which : // 1 = ATX // 2 = X-Box 360 203Watts (the blue wire #define POWER_SUPPLY 1</pre>

Fase	Descripción	Parámetros a modificar
3	Al igual que para la electrónica, escogemos los sensores de temperatura que utilizamos, en nuestro caso dos termistores ATC Semitec 104GT-2, el número 5 de los posibles.	<pre>// 5 is 100K thermistor - ATC Semitec 104GT-2 // 6 is 100k EPCOS - Not as accurate as table // 7 is 100k Honeywell thermistor 135-104LAG-J // 71 is 100k Honeywell thermistor 135-104LAF- // 8 is 100k 0603 SMD Vishay NTC50603E3104FXT // 9 is 100k GE Sensing AL03006-58.2K-97-G1 (4 // 10 is 100k RS thermistor 198-961 (4.7k pull // 60 is 100k Maker's Tool Works Kapton Bed Th // // 1k ohm pullup tables - This is not norma // (but gives greater // 51 is 100k thermistor - EPCOS (1k pullup) // 52 is 200k thermistor - ATC Semitec 204GT-2 // 55 is 100k thermistor - ATC Semitec 104GT-2 #define TEMP_SENSOR_0 5 #define TEMP_SENSOR_1 0 #define TEMP_SENSOR_2 0 #define TEMP_SENSOR_BED 5</pre>
4	Modificamos las temperaturas mínimas y máximas de funcionamiento, si lo creemos necesario (dependen de la temperatura ambiente y del extrusor).	<pre>// The minimal temperature defines the temper // to check that the wiring to the thermistor // Otherwise this would lead to the heater be #define HEATER_0_MINTEMP 5 #define HEATER_1_MINTEMP 5 #define HEATER_2_MINTEMP 5 #define BED_MINTEMP 5 // When temperature exceeds max temp, your he // This feature exists to protect your hotend // You should use MINTEMP for thermistor shor #define HEATER_0_MAXTEMP 275 #define HEATER_1_MAXTEMP 275 #define HEATER_2_MAXTEMP 275 #define BED_MAXTEMP 120</pre>
5	Configuramos la lógica de los finales de carrera. Los finales de carrera pueden estar conectados entre +5V(+), GND(-) y señal(S).	<pre>const bool X_MIN_ENDSTOP_INVERTING = true; / const bool Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING = false; const bool Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING = false; const bool X_MAX_ENDSTOP_INVERTING = false; const bool Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING = true; / const bool Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING = false;</pre>

Fase	Descripción	Parámetros a modificar
6	Los motores PaP mantendrán la corriente por sus bobinados por defecto. En el caso del eje Z lo habilitamos para ahorrar energía.	<pre>#define DISABLE_X false #define DISABLE_Y false #define DISABLE_Z false #define DISABLE_E false // For all extruders #define DISABLE_INACTIVE_EXTRUDER true</pre>
7	Seleccionamos el sentido de giro de los motores.	<pre>#define INVERT_X_DIR false #define INVERT_Y_DIR true #define INVERT_Z_DIR true #define INVERT_E0_DIR false #define INVERT_E1_DIR false #define INVERT_E2_DIR false</pre>
8	Referenciamos el origen.	<pre>// ENDSTOP SETTINGS: // Sets direction of endstops when homing; 1=MAX, -1=MIN #define X_HOME_DIR 1 #define Y_HOME_DIR -1 #define Z_HOME_DIR -1</pre>
9	Definimos el volumen máximo de impresión después de poner la impresora en posición inicial.	<pre>// Travel limits after homing #define X_MAX_POS 270 #define X_MIN_POS 0 #define Y_MAX_POS 250 #define Y_MIN_POS 0 #define Z_MAX_POS 300 #define Z_MIN_POS 0</pre>
10	Configuramos el número de ejes y la velocidad para ir a la posición inicial en mm/min.	<pre>//// MOVEMENT SETTINGS #define NUM_AXIS 4 // The axis order in all axis #define HOMING_FEEDRATE {50*60, 50*60, 4*60, 0}</pre> <p>Nota: HOMING_FEEDRATE{X,Y,Z,E}</p>
11	<p>En esta parte del código se define el movimiento de la impresora, los valores se calcularon en el apartado anterior.</p> <p>Los valores de velocidad y aceleración se obtuvieron de forma práctica.</p>	<pre>#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {80,80,1600,169.77} #define DEFAULT_MAX_FEEDRATE {400, 400, 3, 35} #define DEFAULT_MAX_ACCELERATION {1500,1500,100,10000} #define DEFAULT_ACCELERATION 1000//3000 #define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 2000//3000</pre>

Fase	Descripción	Parámetros a modificar
12	Los siguientes parámetros serán modificados por el programa de laminado según la configuración deseada. Por defecto definimos los siguientes valores.	<pre>// Preheat Constants #define PLA_PREHEAT_HOTEND_TEMP 200 #define PLA_PREHEAT_HPB_TEMP 65 #define PLA_PREHEAT_FAN_SPEED 255 #define ABS_PREHEAT_HOTEND_TEMP 240 #define ABS_PREHEAT_HPB_TEMP 90 #define ABS_PREHEAT_FAN_SPEED 255</pre>
13	Eliminamos el carácter “//” para dar soporte al LCD y a la tarjeta SD.	<pre>//LCD and SD support #define ULTRA_LCD //general lcd su //#define DOGLCD // Support for SP #define SDSUPPORT // Enable SD Card //#define SDSLOW // Use slower SD t</pre>
14	Eliminamos, al igual que antes, el comentario “//” para configurar nuestro LCD+Encoder.	<pre>// The RepRapDiscount Smart Controller (w/ // http://reprap.org/wiki/RepRapDiscount : #define REPRAP_DISCOUNT_SMART_CONTROLLER</pre>
15	Por ultimo en la pestaña <u>language.h</u> modificamos la siguiente línea para tener el menú del LCD en castellano.	<pre>#ifndef LANGUAGE_INCLUDE // pick your language from the list above #define LANGUAGE_INCLUDE GENERATE_LANGUAGE_INCLUDE(es) #endif</pre>

Tabla 3.2.5.1 - Configuración del firmware

Una vez modificado se procede a cargar el firmware en el Arduino.

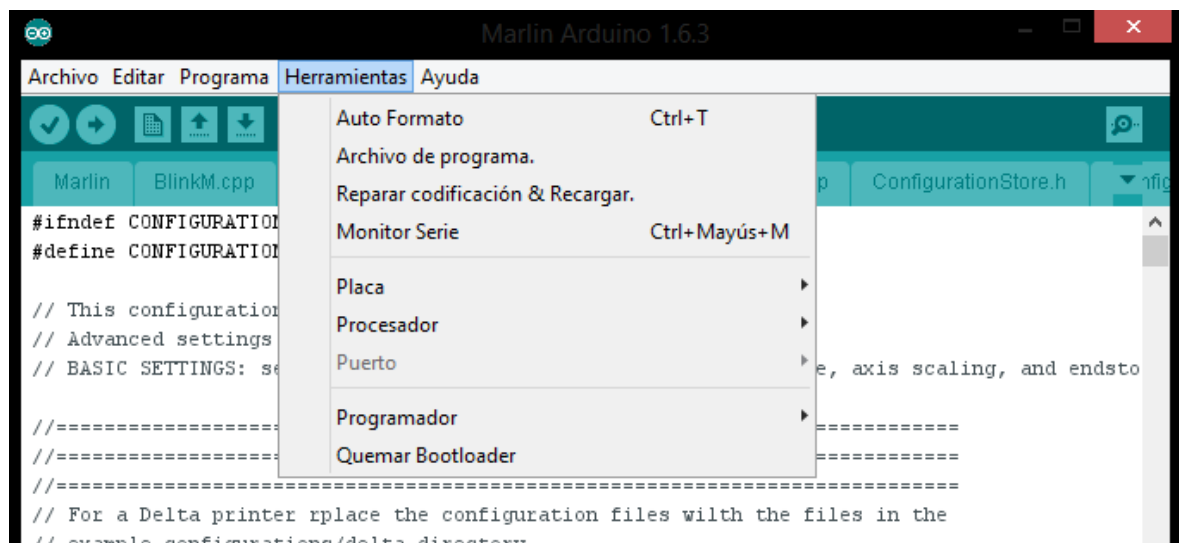


Ilustración 3.2.5.4 - Configurar Placa, Procesador y Puerto (Arduino)

Se configura Placa como Mega 2560, Procesador como ATmega2560 y el Puerto por defecto para el Arduino.

A continuación presionamos en la flecha y grabamos el programa en el Arduino y ya podremos mover la impresora.



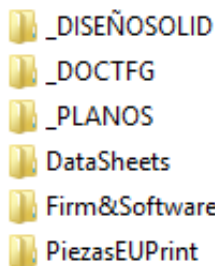
Ilustración 3.2.5.5 - Carga del firmware

3.2.6 Manual de uso

El manual de uso comienza en el laminado de un fichero “.stl” y llega hasta la impresión del mismo.

Cualquier programa de diseño en 3D como el AutoCAD, el SolidEdge o SolidWorks permite la creación de archivos con extensión “.stl”. Este formato define la geometría de objetos 3D, excluyendo información como color, texturas o propiedades físicas.

Los perfiles de impresión, tanto del Cura como del Slic3r, se adjuntan en el CD del TFG. También se puede encontrar el perfil de configuración del Repetier Host. Estos perfiles pueden ser modificados aunque se recomienda mantener una copia.



○ Esta es la estructura de carpetas del CD que se entrega con el trabajo. En la carpeta Firm&Software se pueden encontrar los archivos de configuración así como el firmware cargado en la impresora.

La carpeta PiezasEUPrint contiene los archivos .stl de todas las piezas impresas usadas en la impresora.

Para una mejor comprensión de todos los parámetros se recomienda visitar este enlace: <http://ultra-lab.net/blog/gu%C3%ADa-de-slic3r-an%C3%A1lisis-de-todos-los-par%C3%A1metros> , el cual analiza cada uno de los parámetros de configuración posibles a la hora de laminar un fichero.

También se recomienda visitar la página web del desarrollador del firmware (http://www.marlinfirmware.org/index.php/Main_Page) donde encontraremos todos los comandos G-code implementados para la impresora.

Laminado del fichero: El laminado del modelo digital 3D se hace desde el Repetier Host, pudiendo elegir 2 motores de laminado, el Slic3r y el Cura.

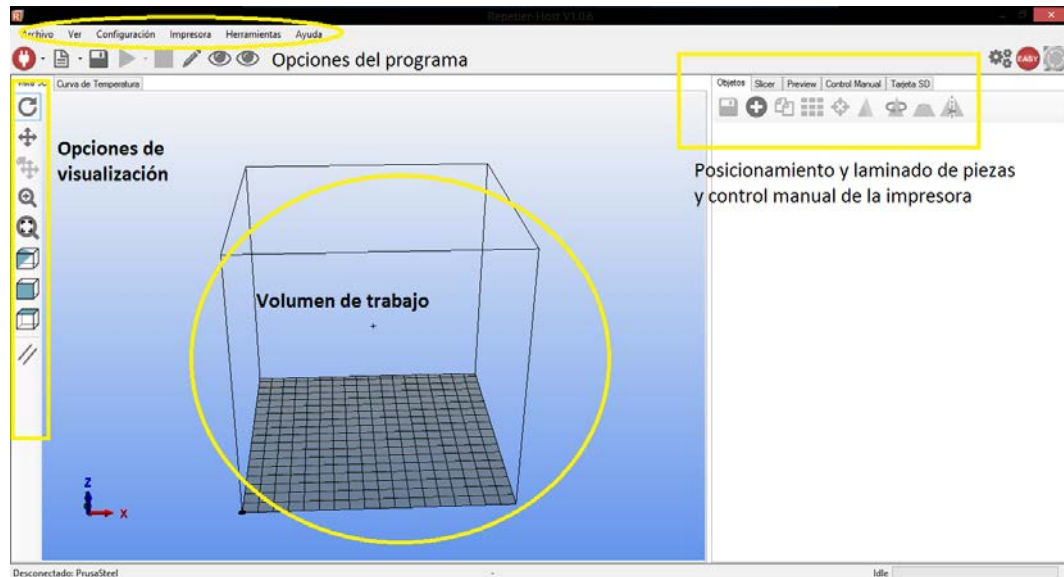


Ilustración 3.2.6.1 - Repetier Host, inicio

Una vez iniciado el programa tendrá este aspecto. Para situar una pieza en el entorno de trabajo simplemente tendremos que arrastrar el archivo .stl al espacio de trabajo o clicar en el signo más y buscar el archivo.

Tras hacer esto veremos caer la pieza y podremos pasar a las opciones de laminado. Las piezas se pueden multiplicar, variar de posición, reflejar, cortar, etc.

En la siguiente imagen vemos la pieza situada en el volumen de trabajo. Si ya tenemos la impresora conectada al ordenador a través del cable usb podremos pulsar el botón de conectar.

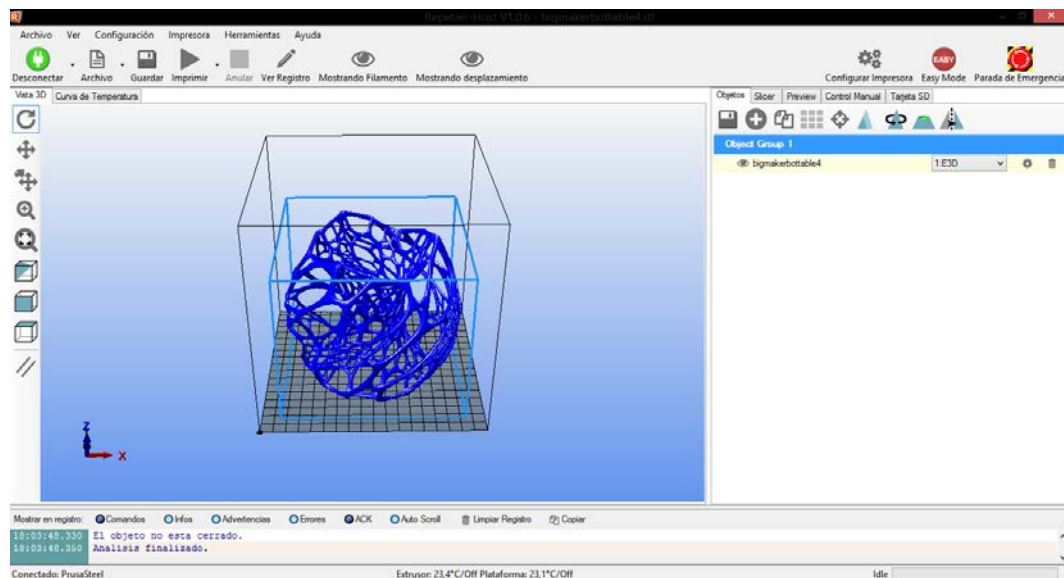


Ilustración 3.2.6.2 - Repetier Host, abrir .stl

Después de situar la pieza correctamente en el volumen de trabajo pasamos a la pestaña de laminado o Slicer.

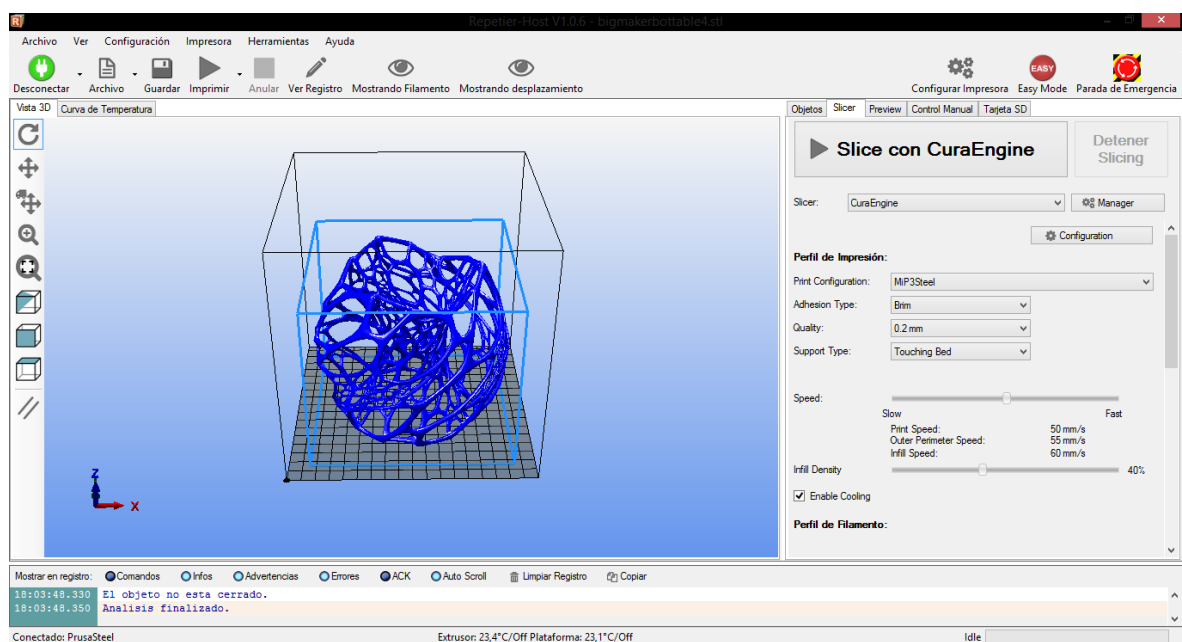


Ilustración 3.2.6.3 - Repetier Host, laminado

Como se ha comentado donde pone Slicer podemos escoger entre el CuraEngine y el Slic3r como motores de laminado de manera independiente.

Pulsando en “configuration” podemos variar los parámetros de laminado o importar los perfiles creados.

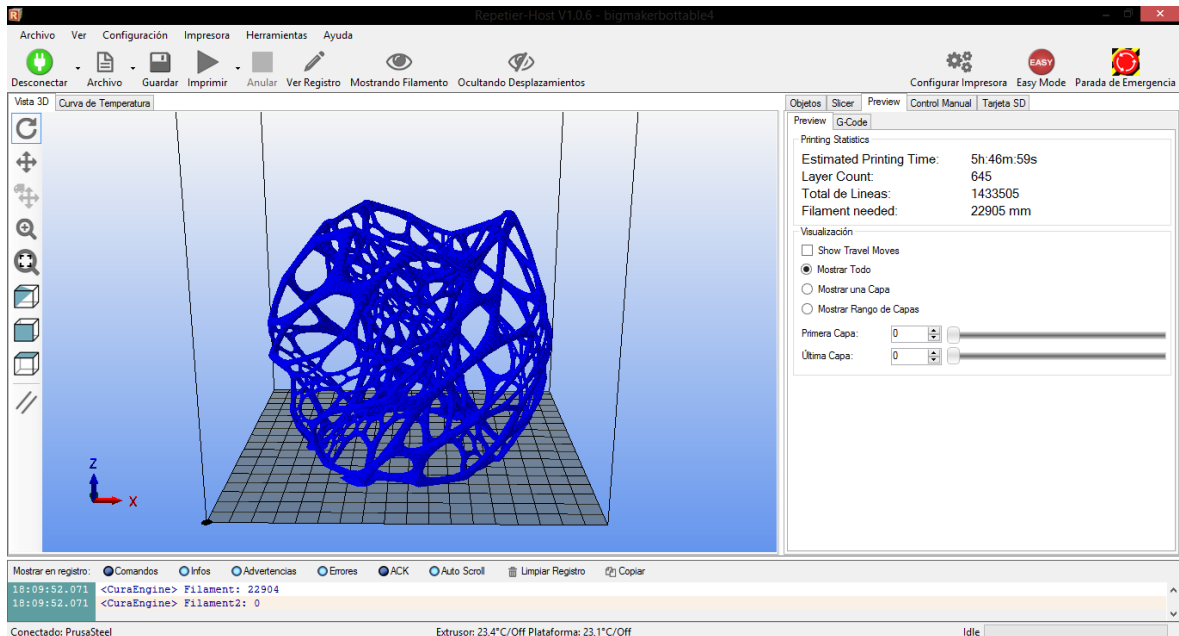


Ilustración 3.2.6.4 - Repetier Host, tiempos de impresión

Una vez laminado el fichero podremos pulsar el “play” de impresión o guardar el g-code en una tarjeta SD para imprimir de forma autónoma a través del LCD.

En la pestaña de G-Code podemos ver el código que se enviara a la impresora para imprimir la pieza. Este código se puede modificar antes de su envío o de su guardado.

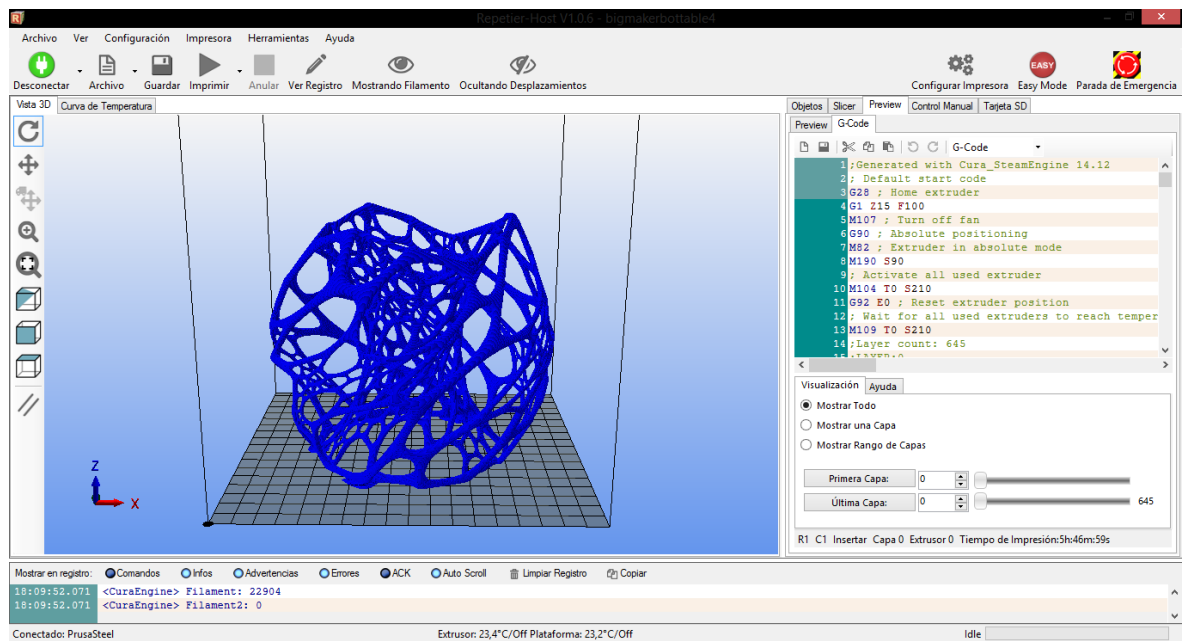


Ilustración 3.2.6.5 - Repetier Host, Gcode

Pulsando el icono del disquete y seleccionando la tarjeta SD tendremos el g-code guardado donde seleccionemos.

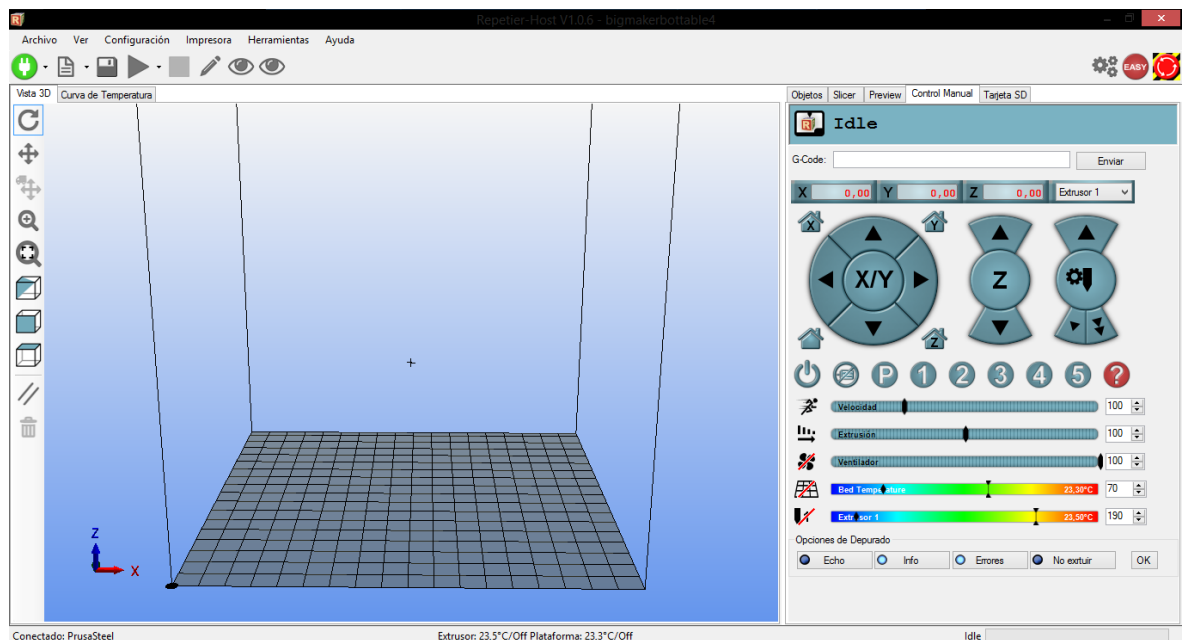


Ilustración 3.2.6.6 - Repetier Host, control manual

En las ultimas pestañas tenemos las opciones de control manual y gestion de la SD. Su interface es tan intuitiva que no muestra dificultad alguna el manejo.

Control a través del LCD: Las siguientes imágenes muestran el menú de la impresora para el control autónomo (sin PC o Mac).



Ilustración 3.2.6.7 - LCD, pantalla inicial

En la pantalla inicial podemos ver información sobre las temperaturas del extrusor, de la cama caliente, la posición del extrusor, la velocidad general o el porcentaje de espacio ocupado en la tarjeta SD.

Al pulsa el encoder accedemos al siguiente menú.

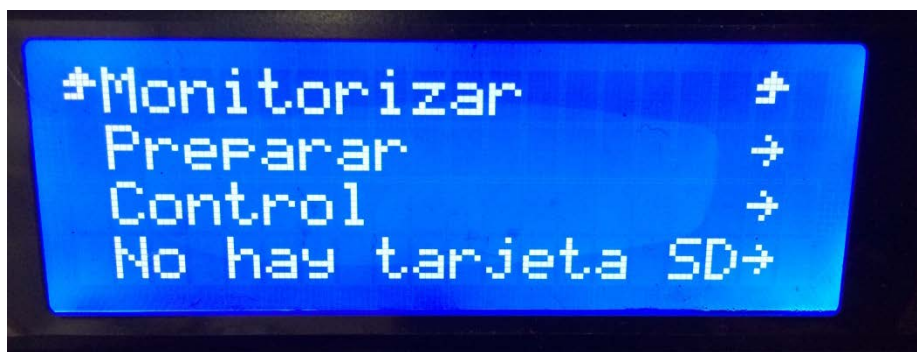


Ilustración 3.2.6.8 - LCD, menú

Pulsando en monitorizar volveremos a la pantalla anterior, en preparar podremos mover la impresora o calentarla. Desde control se pueden modificar algunos de los parámetros configurados desde el firmware (se recomienda no modificar los parámetros de funcionamiento), como se comentó en el capítulo de configuración del firmware.



Ilustración 3.2.6.9 - LCD, menú preparar

En el menú preparar tenemos las siguientes opciones, la más importante es mover los ejes, que nos permitirá el control del movimiento, útil a la hora de ajustar la base. Si accedemos a ella, primero escogeremos la magnitud del movimiento y después el eje que se moverá. Girando el encoder al sentido de las agujas del reloj se decrementará el valor, mientras que si se gira al sentido contrario se incrementará el valor.



Ilustración 3.2.6.10 - LCD, magnitud del movimiento

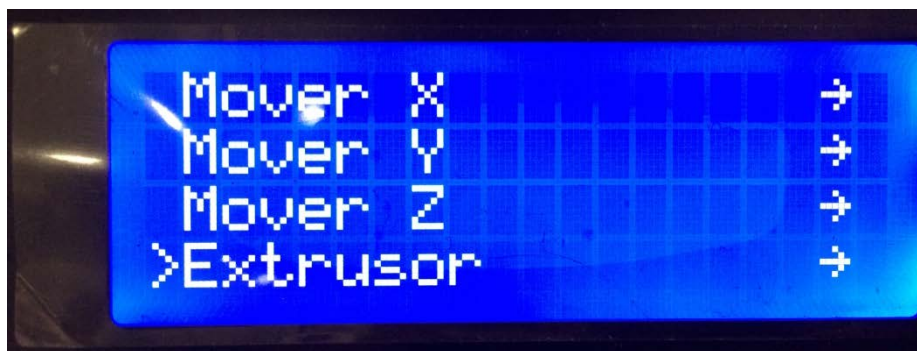


Ilustración 3.2.6.11 - LCD, eje a mover

Para imprimir desde la tarjeta SD simplemente tendremos que introducirla de la manera correcta. Una vez hecho esto, el LCD mostrara un mensaje de “Tarjeta colocada” como se puede ver en la ilustración 64.

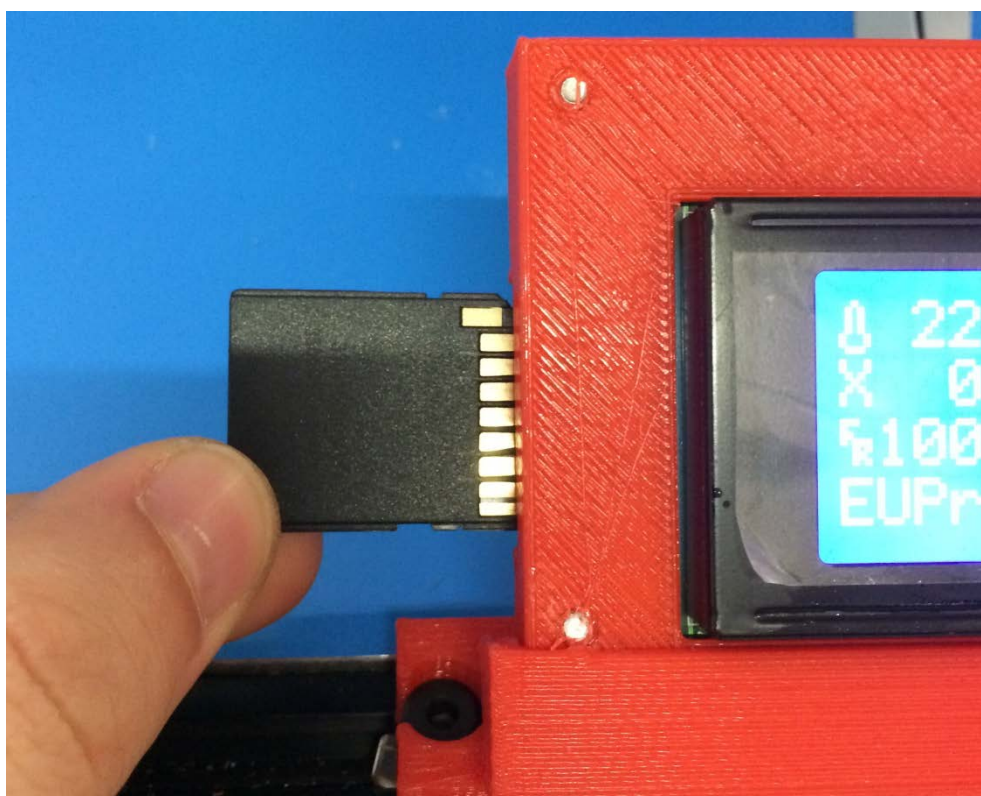


Ilustración 3.2.6.12 - LCD, introducir SD



Ilustración 3.2.6.13 - LCD, tarjeta colocada

De la misma forma, si la retiramos veremos el siguiente mensaje.

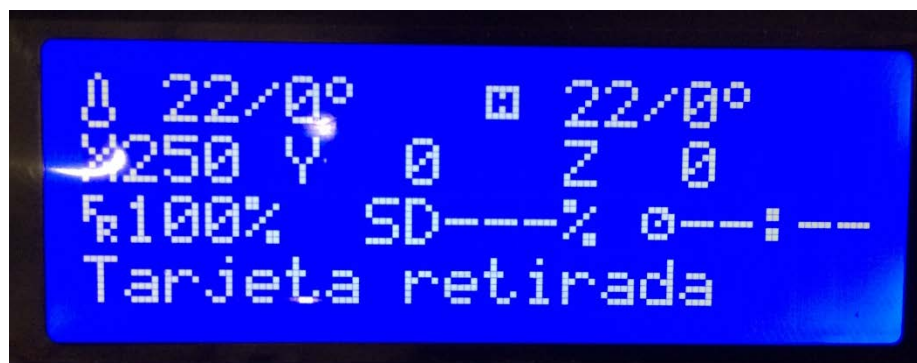


Ilustración 3.2.6.14 - LCD, tarjeta retirada

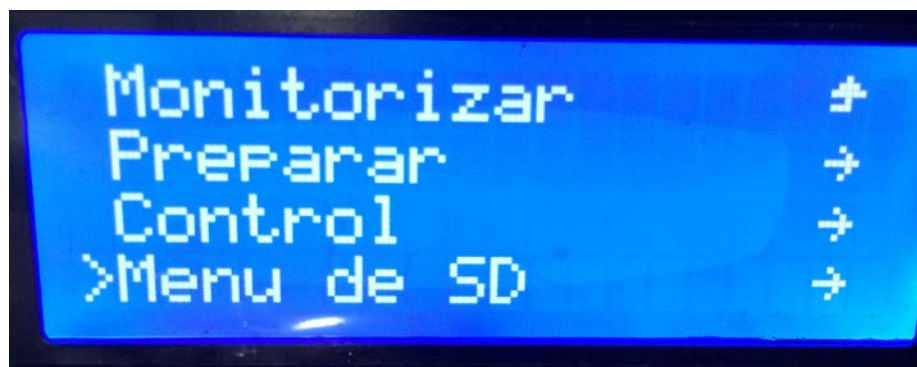


Ilustración 3.2.6.15 - LCD, acceso a los archivos de la SD

Por último, si se pulsa en “Menú de SD” se accederá a los archivos de la SD para su impresión.

3.2.6.1 Solución de problemas

Problema	Posibles causas	Solución
La impresora no se enciende.	<ul style="list-style-type: none"> - La alimentación esta desconectada. - El fusible de protección esta fundido. - Los cables están desconectados. - La fuente de alimentación no funciona. 	<ul style="list-style-type: none"> - Conectar la alimentación. - Cambiar el fusible. - Revisar cableado y repararlo. - Cambiar la fuente de alimentación.
Después de extruir, el extrusor ya no extruye.	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura de fusión demasiado baja (superior a 180°C). - Extrusor atascado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumentar la temperatura sin sobrepasar los 250°C. - Retirar extrusor y comprobar atasco, desatascar extrusor.
El extrusor no extruye.	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura de fusión demasiado baja. - El motor PaP no se mueve. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumentar la temperatura sin sobrepasar los 250°C. - Comprobar cables y tensión en el variador, la temperatura mínima de movimiento son 175°C.

Problema	Posibles causas	Solución
Los motores PaP no se mueven.	<ul style="list-style-type: none"> - Finales de carrera desconectados o mal configurados. - Fases mal conectadas. - Tensión incorrecta en los variadores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Conectar los finales de carrera y revisar configuración firmware. - Revisar y reconectar fases correctamente. - Comprobar tensión y ajustarla como se indica en el anexo de calibración.
No se adhieren las piezas de PLA o ABS.	<ul style="list-style-type: none"> - La base no está regulada. - Temperatura de la base demasiado baja. 	<ul style="list-style-type: none"> - Regular la base. - Aumentar la temperatura, rociar la base con laca.
Las medidas de las piezas no se corresponden.	<ul style="list-style-type: none"> - La configuración de pasos por milímetro es incorrecta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Comprobar y corregir, según anexo de ajuste.
Las capas están desplazadas. No mantienen la verticalidad.	<ul style="list-style-type: none"> - Los motores PaP pierden pasos por falta de corriente. - Los motores PAP pierden pasos por poca tensión en las correas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Revisar tensión en el variador y recalibrar punto de trabajo según anexo de calibración. - Comprobar correas deje X e Y, tensar correas de ambos ejes.

Tabla 3.2.6.1 - Solución de problemas

3.2.7 Piezas de calibración impresas



Ilustración 3.2.7.1 - Piezas de calibración



Ilustración 3.2.7.2 - Detalle plástico en contacto con la base

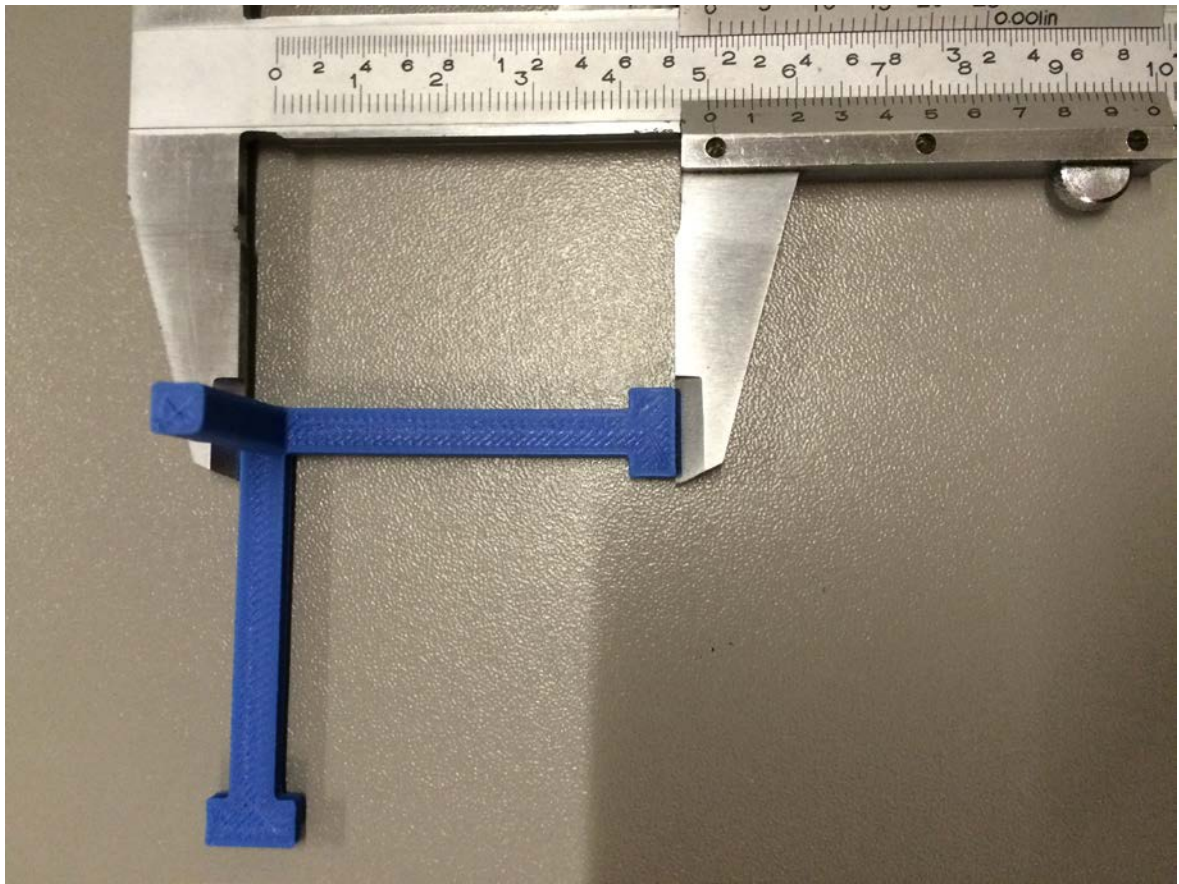


Ilustración 3.2.7.3 - Ejes 5x5x2,5

Como se puede ver en estas imágenes las medidas de las piezas son perfectas.

Después de imprimir varias piezas de calibración se determina que el error es inferior a 100 μm para cada uno de los ejes y en cada una de las piezas.

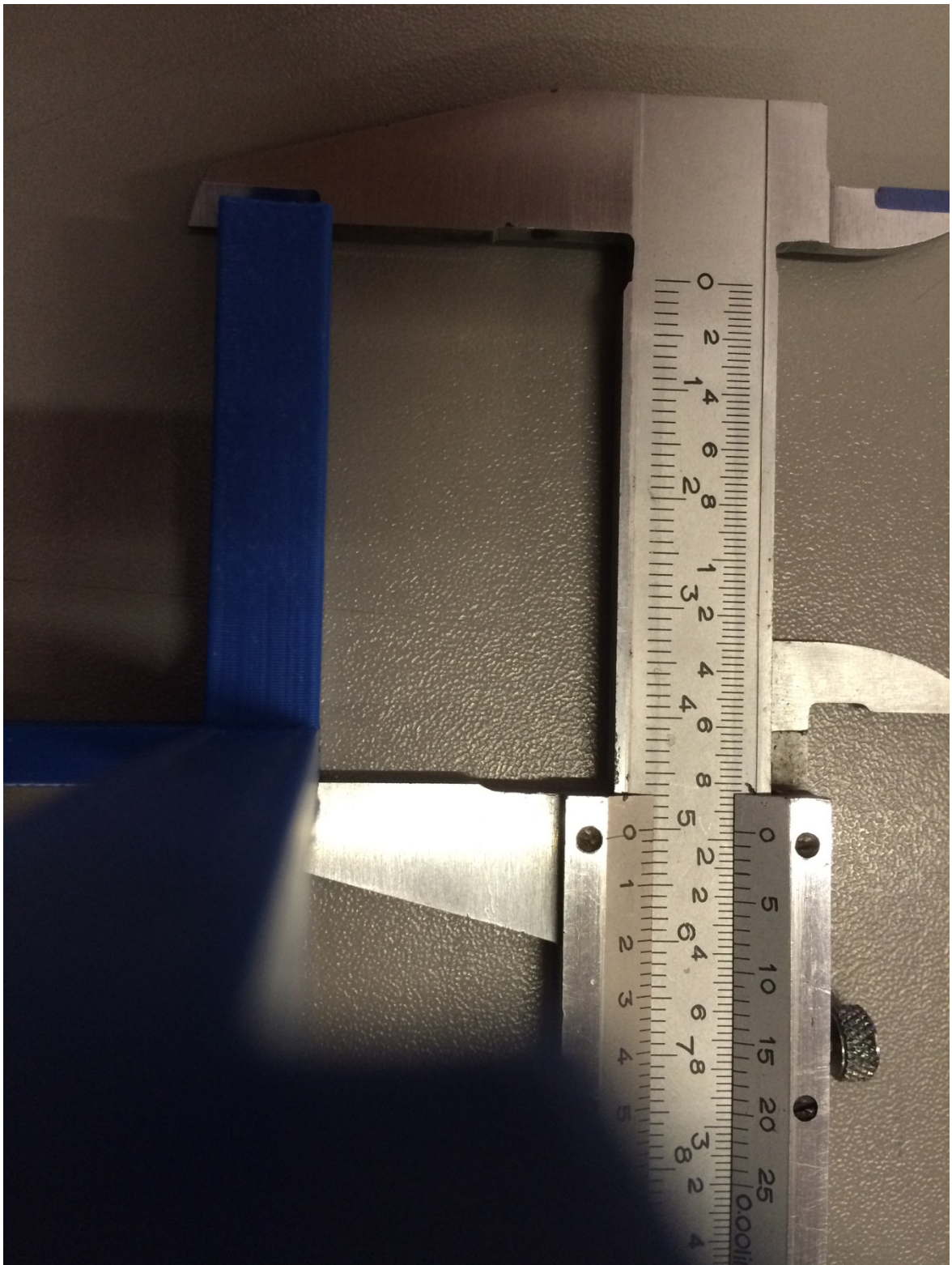


Ilustración 3.2.7.4 - Ejes 10x10x5

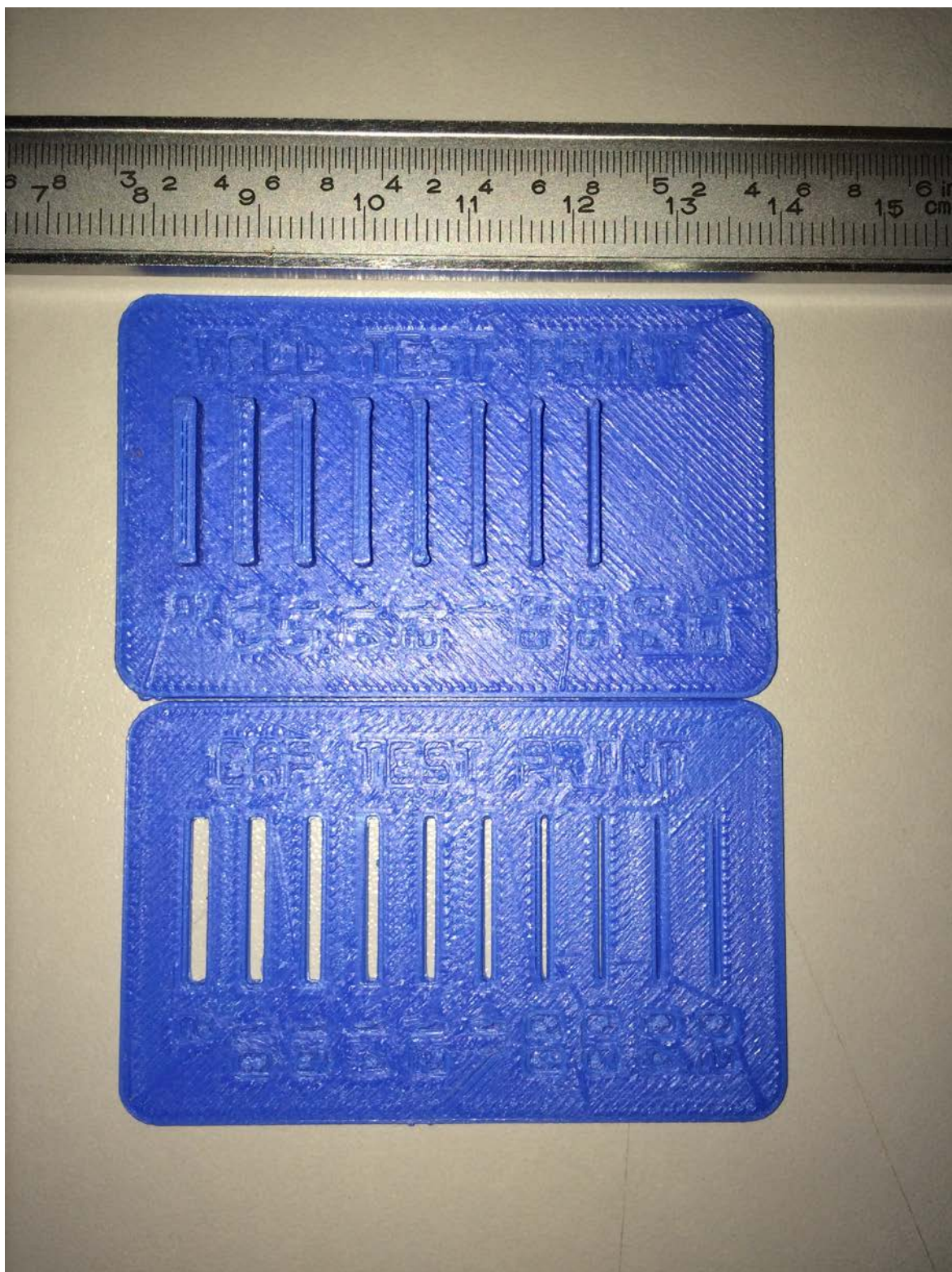


Ilustración 3.2.7.5 - Muros y huecos

3.3 Hojas de características

A continuación se adjuntan las hojas de características utilizadas para llevar a cabo el presente trabajo, al igual que los planos que facilita el proveedor de los perfiles.

Se organizan en fundas de plástico con el siguiente orden:

1ª→Planos del proveedor de los perfiles.

2ª→Hojas de características del driver A4988.

3ª→Hojas de características del driver DVR8825.

4ª→Esquema Arduino Mega 2560.

5ª→Esquema, BOM y topográfico RAMPS 1.4.

6ª→Hojas de características de los motores PaP.

**TÍTULO: DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE.
PROPUESTA E IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y
MEJORAS ESTRUCTURALES.**

PLANOS

**PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N
15405 - FERROL**

FECHA: JUNIO DE 2015

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: DAVID ARMADA PITA

4 PLANOS

INDICE PLANOS

La codificación de los planos responde al siguiente esquema:

EJ: G-001

- Primeras letras: G→General, PI→Parte Impresa, PA→ Parte adquirida
- Números: Se incrementan a partir del 001.

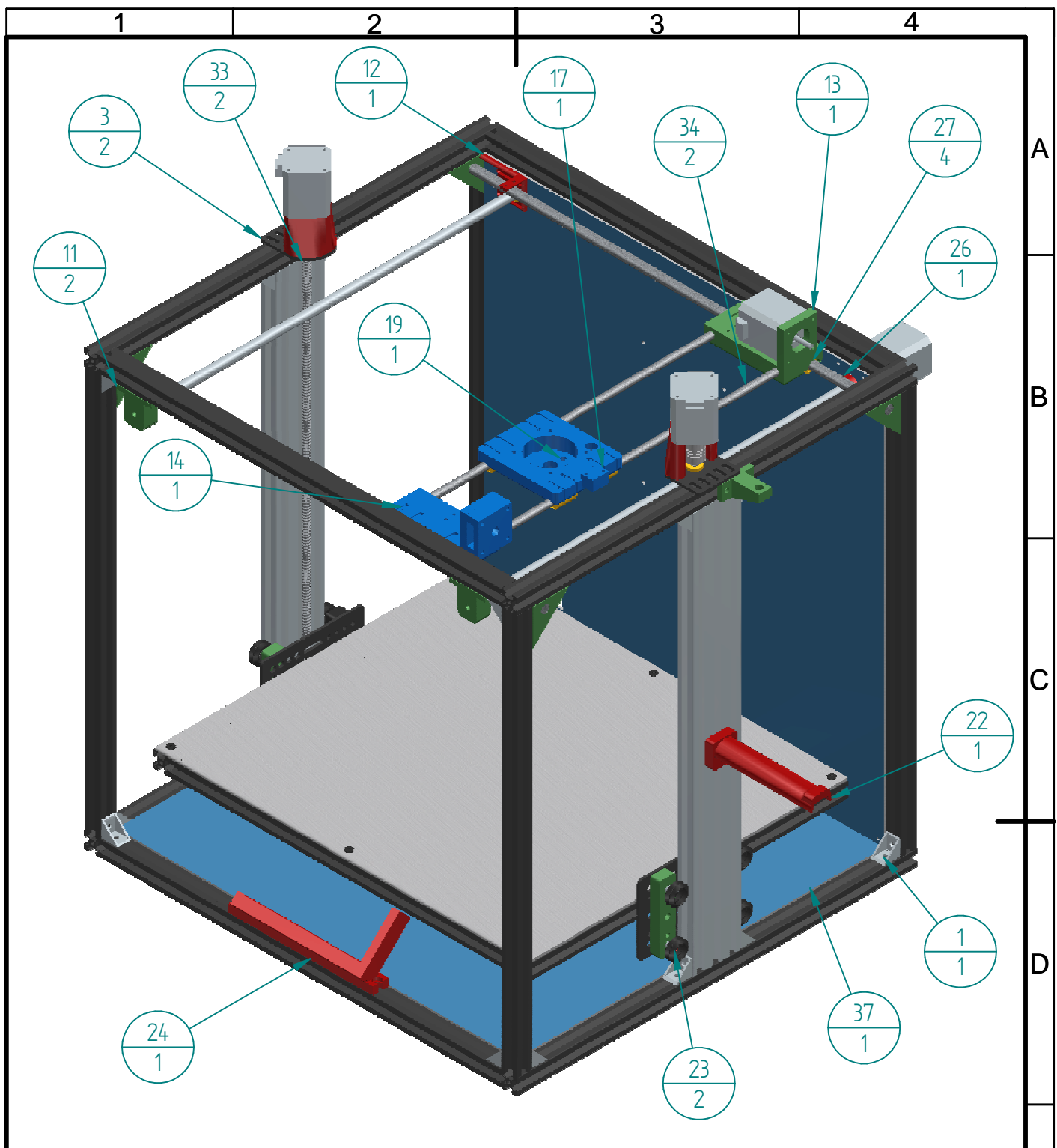
Página	Nº Plano	Título del plano	Ref. parte	Escala	Fecha
122	G-001	Conjunto general	-	1:5	Junio - 2015
123	G-002	Conjunto general	-	1:5	Junio - 2015
124	PI-003	Porta bobina	IM-015	1:1	Junio - 2015
125	PI-004	Soporte enchufe	IM-010	1:1	Junio - 2015
126	PI-005	Separador motor	IM-005	1:1	Junio - 2015
127	PI-006	Soporte Arduino	IM-008	1:2	Junio - 2015
128	PI-007	Acople eje X	IM-016	2:1	Junio - 2015
129	PI-008	Separador ruedas	IM-009	1:1	Junio - 2015
130	PI-009	Cierre husillo	IM-013	1:1	Junio - 2015
131	PI-010	Soporte extrusor	IM-001	1:1	Junio - 2015
132	PI-011	Unión extrusor	IM-017	1:1	Junio - 2015
133	PI-012	Esquina M10	IM-004	1:1	Junio - 2015
134	PI-013	Soporte LCD	IM-011	1:2	Junio - 2015
135	PI-014	Cierre polea	IM-012	1:1	Junio - 2015
136	PI-015	Anclaje delantero	IM-007	1:1	Junio - 2015
137	PI-016	Anclaje trasero	IM-006	1:1	Junio - 2015
138	PI-017	Cierre correa X	IM-019	2:1	Junio - 2015
139	PI-018	Cierre correa Y	IM-018	2:1	Junio - 2015
140	PI-019	Guía filamento	IM-014	1:1	Junio - 2015
141	PI-020	Separador eje Z	IM-020	1:1	Junio - 2015

Página	Nº Plano	Título del plano	Ref. parte	Escala	Fecha
142	PI-021	Unión XY polea	IM-003	1:1	Junio - 2015
143	PI-022	Unión XY motor	IM-002	1:1	Junio - 2015
144	PA-023	Base aluminio	ES-023	1:5	Junio - 2015
145	PA-024	Fondo aluminio	ES-023	1:5	Junio - 2015

A continuación se muestran la relación de partes de los conjuntos generales:

* :Partes del conjunto general 1

Número de elemento	Ref. parte	Nombre archivo (sin extensión)	Autor	Cantidad	Número de elemento	Ref. parte	Nombre archivo (sin extensión)	Autor	Cantidad
1	ES-013	Perfil20x20	David Armada Pita	16	32	ES-020	varillaM10 - EJEX	David Armada Pita	2
2	ES-014	Perfil 60x20	David Armada Pita	1	33*	ES-006	Husillo	David Armada Pita	2
3*	ES-009	RodPlate	David Armada Pita	2	34*	ES-021	varillaM8 - EJEX	David Armada Pita	2
4	ES-010	gantryplate	David Armada Pita	2	35	ES-020	ayuda (ejeX)	David Armada Pita	2
5	ES-005	vwheelKit	David Armada Pita	8	36	EL-005	FA12V30A	TraceParts S.A.	1
6	ES-007	union	David Armada Pita	28	37*	ES-023	fondo	David Armada Pita	1
7	ES-023	alucamacaliente	David Armada Pita	1	38	ES-023	ventana_trasera	David Armada Pita	1
8	IM-004	cierre2M10	David Armada Pita	4	39	ES-027/8	Allen8mm	David Armada Pita	98
9	IM-005	separadormotor	David Armada Pita	1	40	ES-001	AcopleEjeZ	David Armada Pita	2
10	IM-020	separadorZ	David Armada Pita	2					
11*	IM-007	anclajedelanteroX	David Armada Pita	2					
12*	IM-006	anclajetraseroX	David Armada Pita	1					
13*	IM-002	unionXY	David Armada Pita	1					
14*	IM-003	unionXYdelantera	David Armada Pita	1					
15	IM-001	soporteextrusor	David Armada Pita	1					
16	IM-012	cierrepolea	David Armada Pita	1					
17*	IM-019	bloqueocorrea	David Armada Pita	1					
18	IM-018	bloqueocorreaY	David Armada Pita	2					
19*	IM-017	extrusorunion	David Armada Pita	1					
20	IM-010	soporteenchufe	David Armada Pita	1					
21	IM-014	soporteguiafilamento	David Armada Pita	1					
22*	IM-015	portatbobinas	David Armada Pita	1					
23*	IM-013	finalhusillo	David Armada Pita	2					
24*	IM-011	soporteLCD	David Armada Pita	1					
25	IM-008	soportearduino	David Armada Pita	1					
26*	IM-016	AcopleMotorEjeX	David Armada Pita	1					
27*	ES-018	bbet10	TraceParts S.A.	4					
28	ES-019	bbet8	TraceParts S.A.	4					
29	ES-015	bearing_688zz_0	TraceParts S.A.	4					
30	ES-016	bearing_625zz_0	TraceParts S.A.	3					
31	EL-001	Nema17	David Armada Pita	4					



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

TFG Nº: 770G01A64

TÍTULO DEL TFG:

DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE. PROPUESTA E IMPLMETACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y MEJORAS ESTRUCTURALES.

TÍTULO DEL PLANO:

Conjunto general 1

FECHA: JUNIO-2015

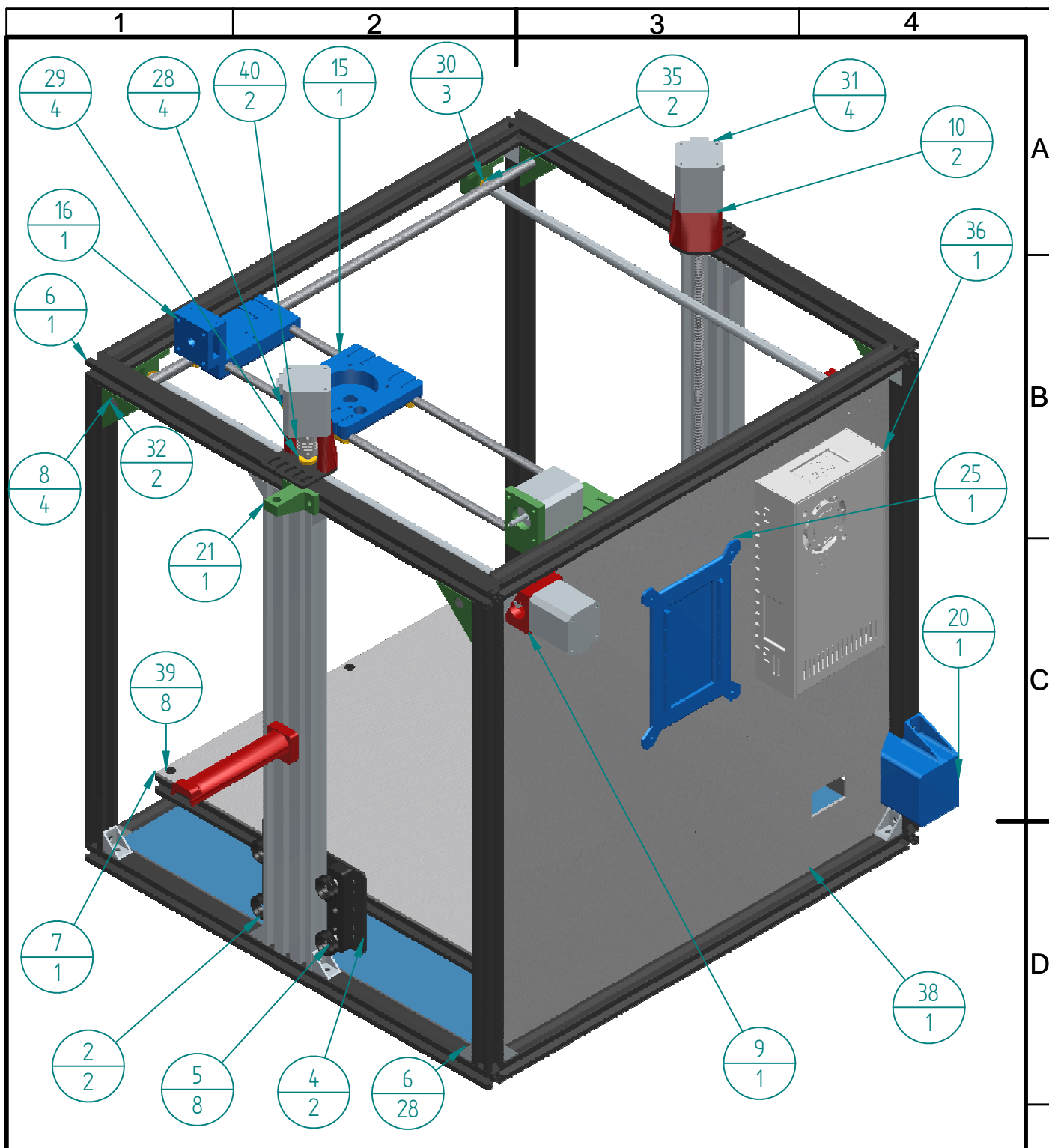
ESCALA: 1:5

AUTOR:

DAVID ARMADA PITA

FIRMA:

PLANO Nº: G-001



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

TFG Nº: 770G01A64

TÍTULO DEL TFG:

DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE. PROPUESTA E IMPLMETACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y MEJORAS ESTRUCTURALES.

TÍTULO DEL PLANO:

Conjunto general 2

FECHA: JUNIO-2015

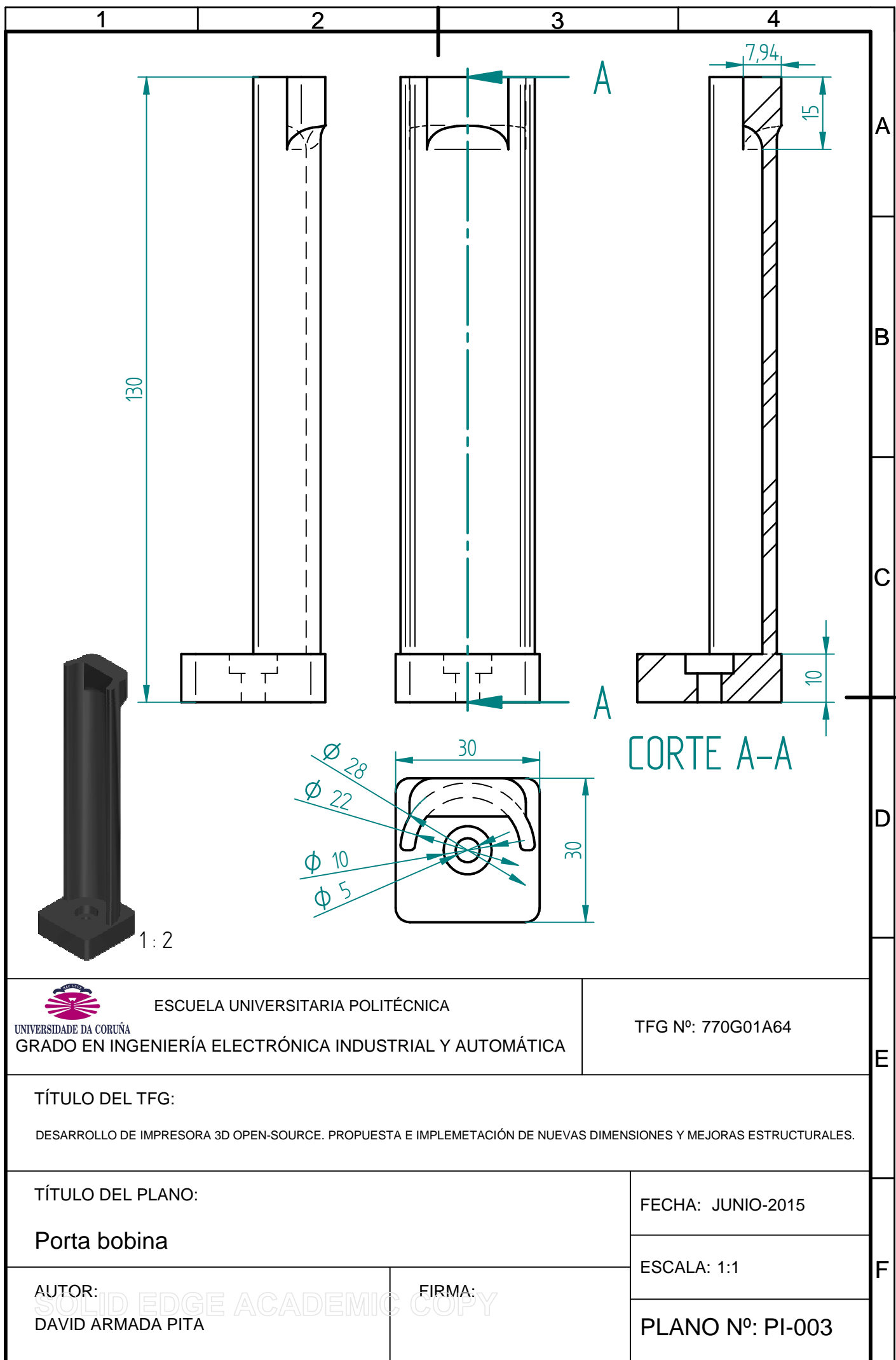
ESCALA: 1:5

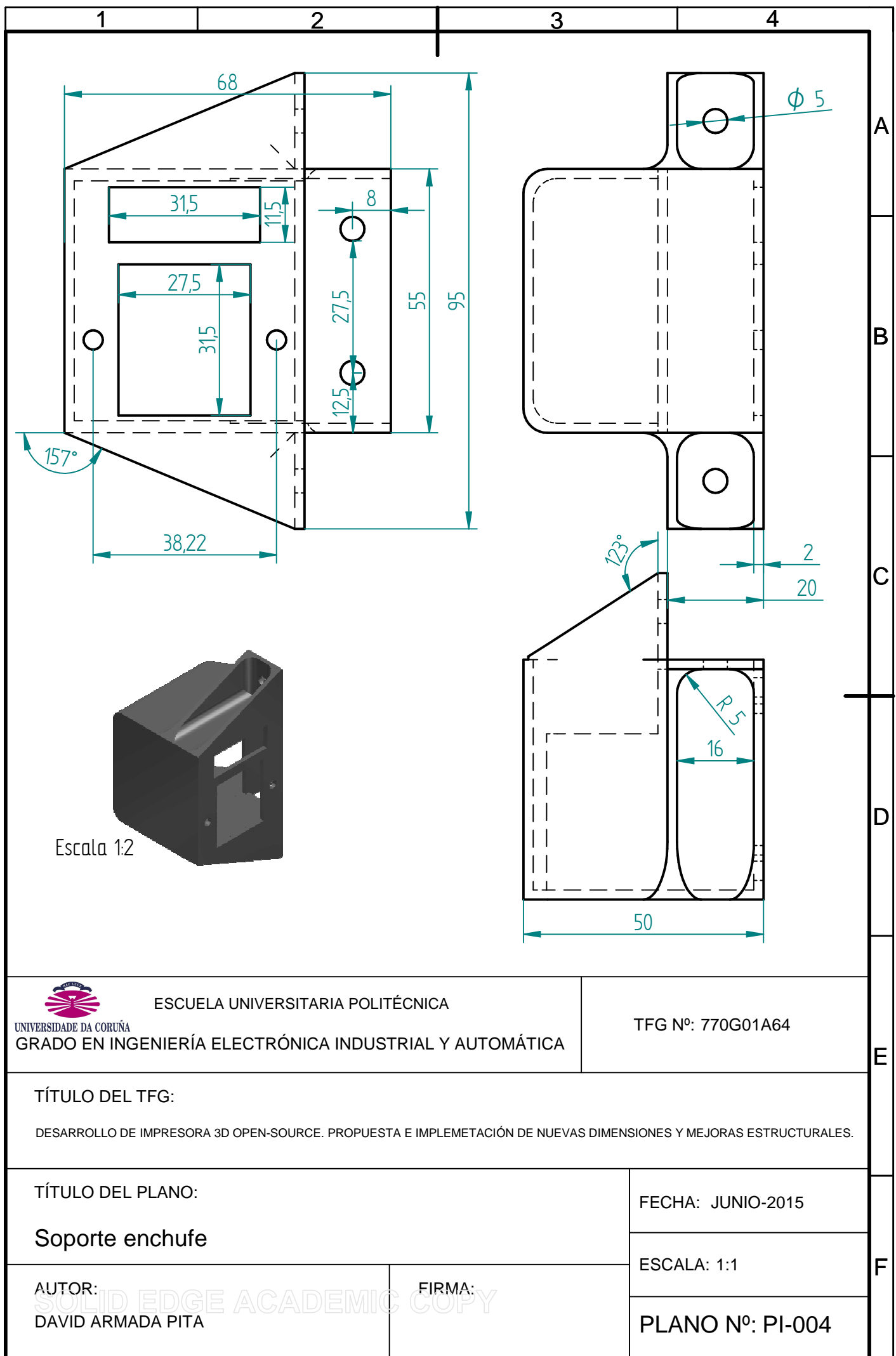
AUTOR:

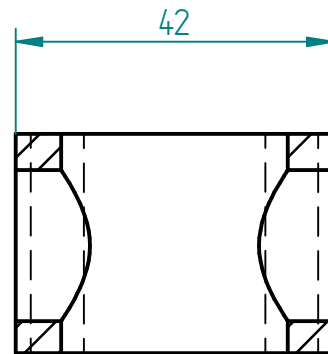
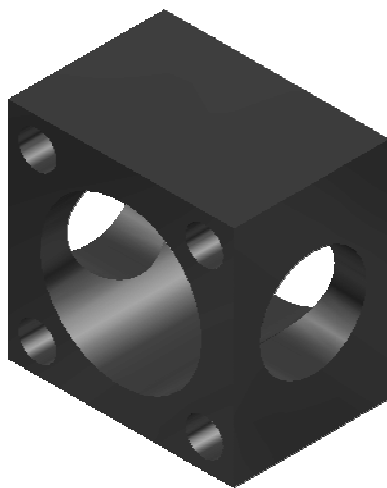
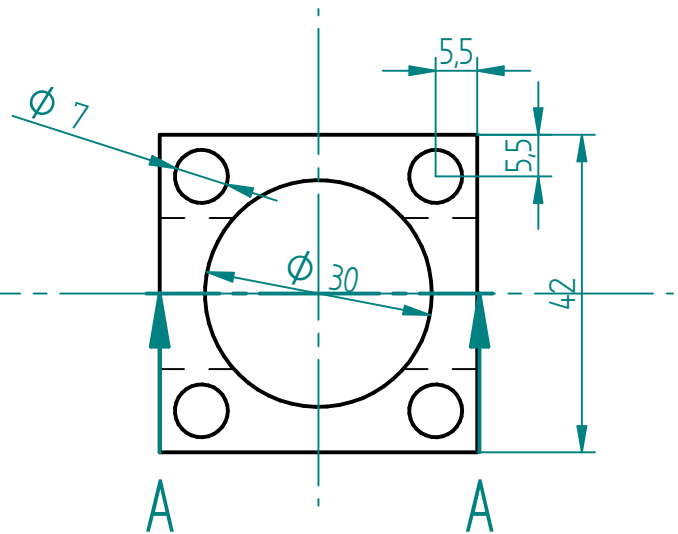
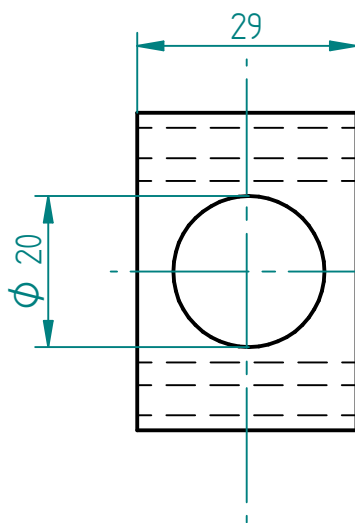
DAVID ARMADA PITA

FIRMA:

PLANO Nº: G-002







CORTE A-A



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

TFG Nº: 770G01A64

TÍTULO DEL TFG:

DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE. PROPUESTA E IMPLMETACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y MEJORAS ESTRUCTURALES.

TÍTULO DEL PLANO:

Separador motor

FECHA: JUNIO-2015

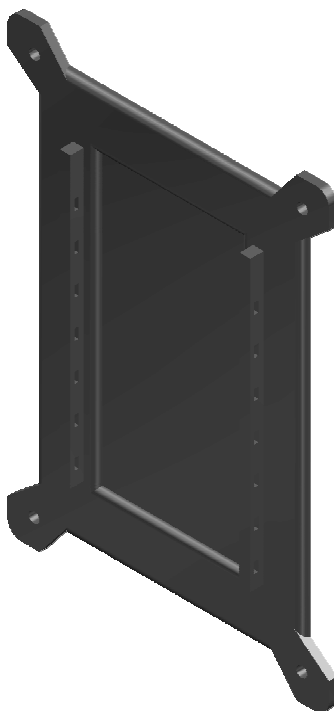
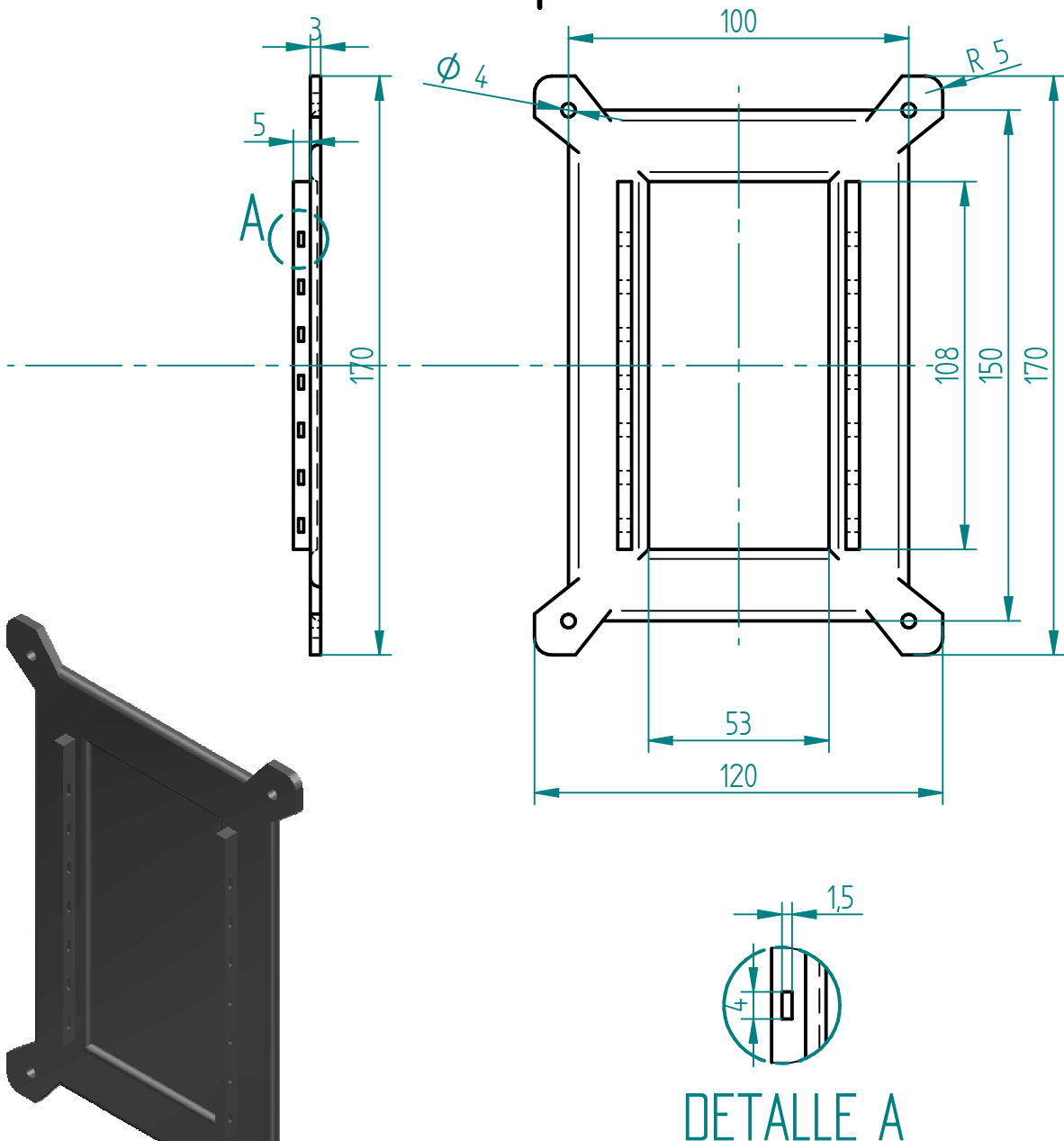

ESCALA: 1:1

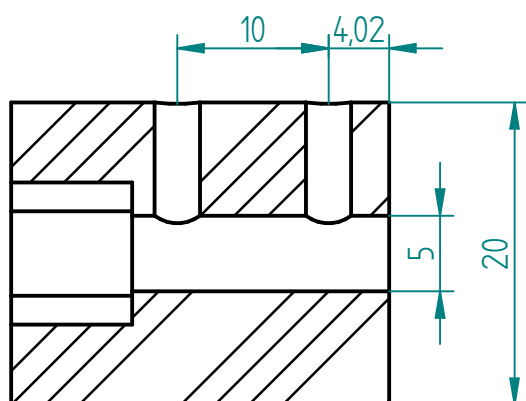
AUTOR:

DAVID ARMADA PITA

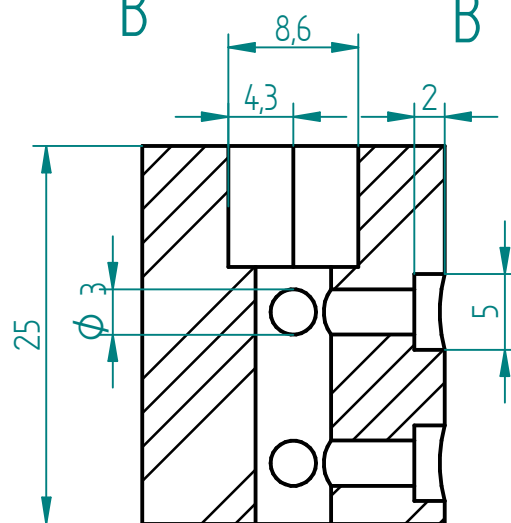
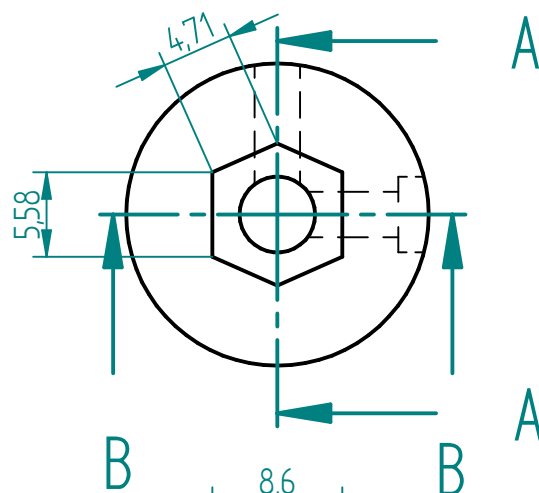
FIRMA:

PLANO Nº: PI-005

1		2		3		4			
									
 UNIVERSIDADE DA CORUÑA GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA				ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA				TFG Nº: 770G01A64	
TÍTULO DEL TFG: DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE. PROPUESTA E IMPLEMETACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y MEJORAS ESTRUCTURALES.									
TÍTULO DEL PLANO: Soporte Arduino						FECHA: JUNIO-2015			
AUTOR: DAVID ARMADA PITA						ESCALA: 1:2			
						PLANO Nº: PI-006			
FIRMA:									



CORTE A-A



CORTE B-B



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

TFG Nº: 770G01A64

TÍTULO DEL TFG:

DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE. PROPUESTA E IMPLMETACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y MEJORAS ESTRUCTURALES.

TÍTULO DEL PLANO:

Acople eje X

FECHA: JUNIO-2015


ESCALA: 2:1

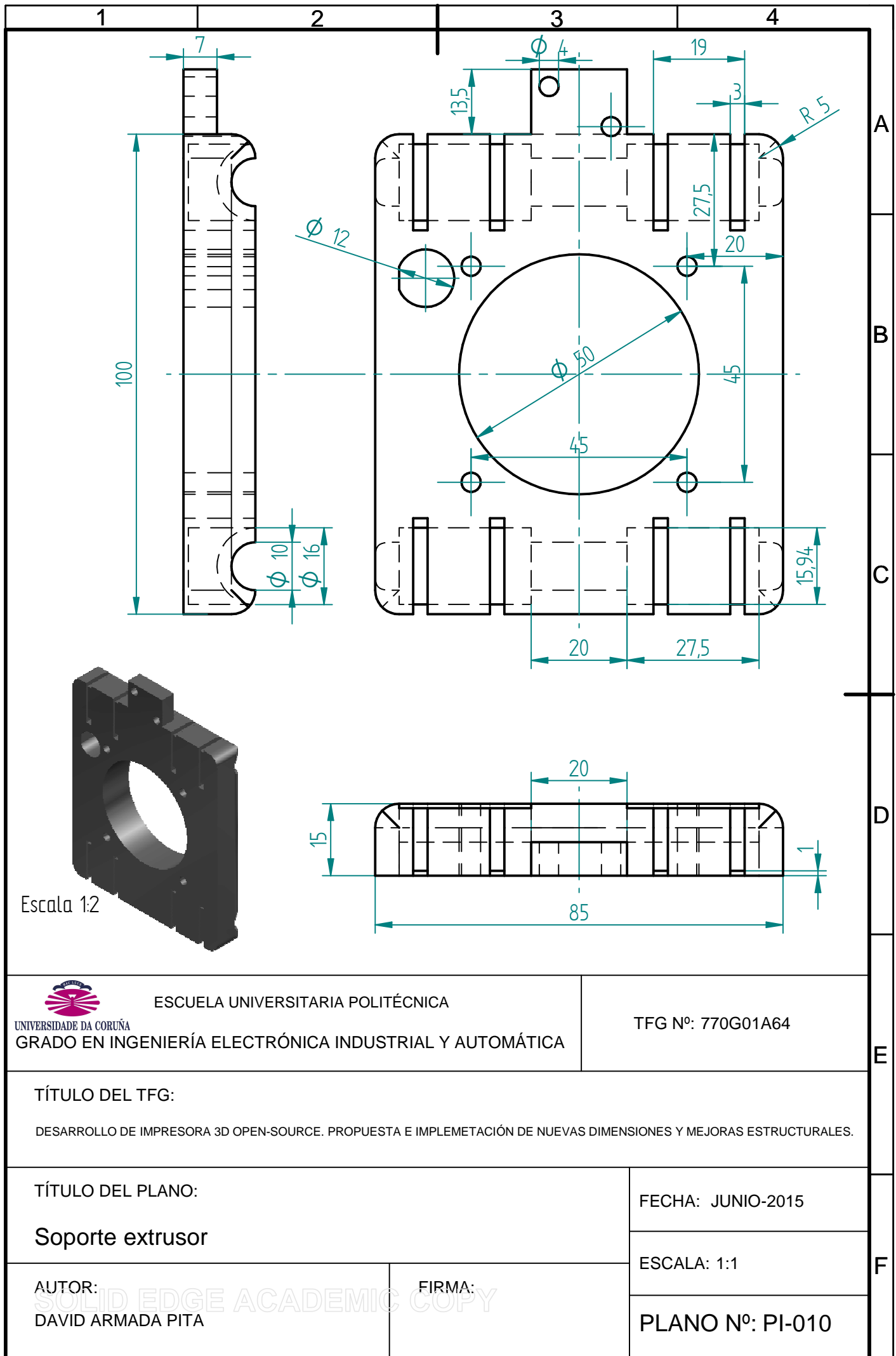
AUTOR:

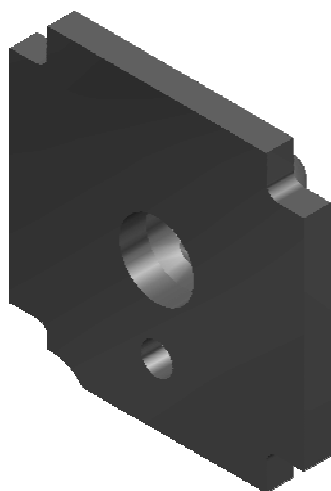
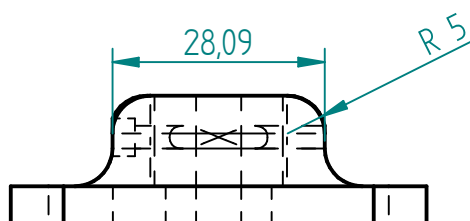
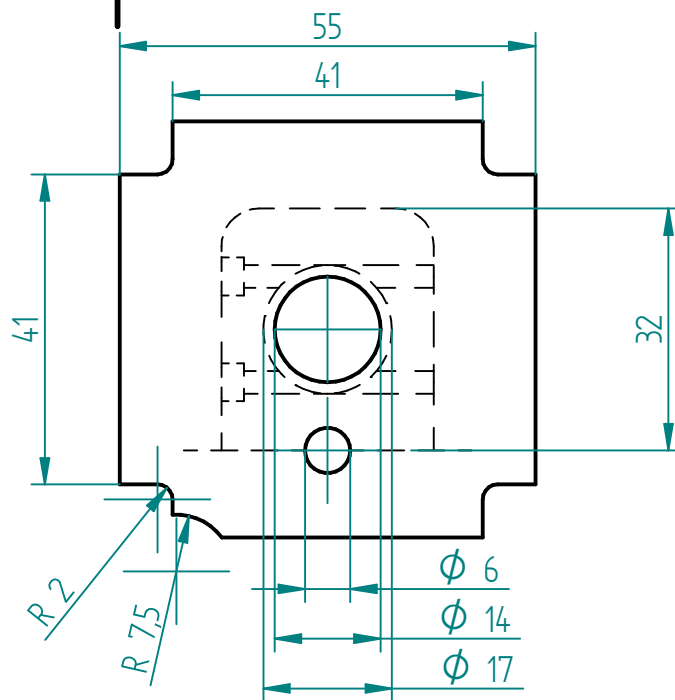
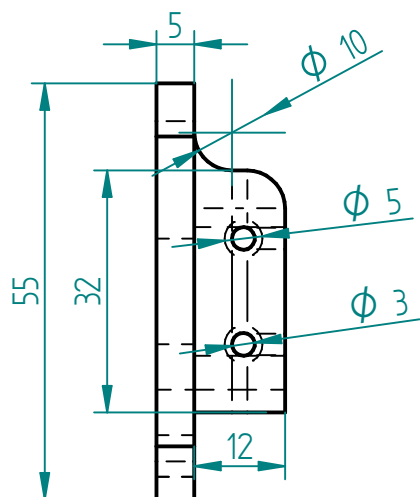
DAVID ARMADA PITA

FIRMA:

PLANO Nº: PI-007

1	2	3	4	
				A
<div data-bbox="284 443 630 651"> </div> <div data-bbox="877 405 1485 696"> </div>				B
<div data-bbox="323 1093 655 1335"> </div> <div data-bbox="887 898 1441 1182"> </div>				C
				D
 ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA UNIVERSIDADE DA CORUÑA GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA		TFG Nº: 770G01A64		E
TÍTULO DEL TFG: DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE. PROPUESTA E IMPLEMETACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y MEJORAS ESTRUCTURALES.				
TÍTULO DEL PLANO: Cierre husillo		FECHA: JUNIO-2015		F
AUTOR: DAVID ARMADA PITA		FIRMA:		ESCALA: 1:1 PLANO Nº: PI-009





UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

TFG Nº: 770G01A64

TÍTULO DEL TFG:

DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE. PROPUESTA E IMPLMETACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y MEJORAS ESTRUCTURALES.

TÍTULO DEL PLANO:

Unión extrusor

FECHA: JUNIO-2015

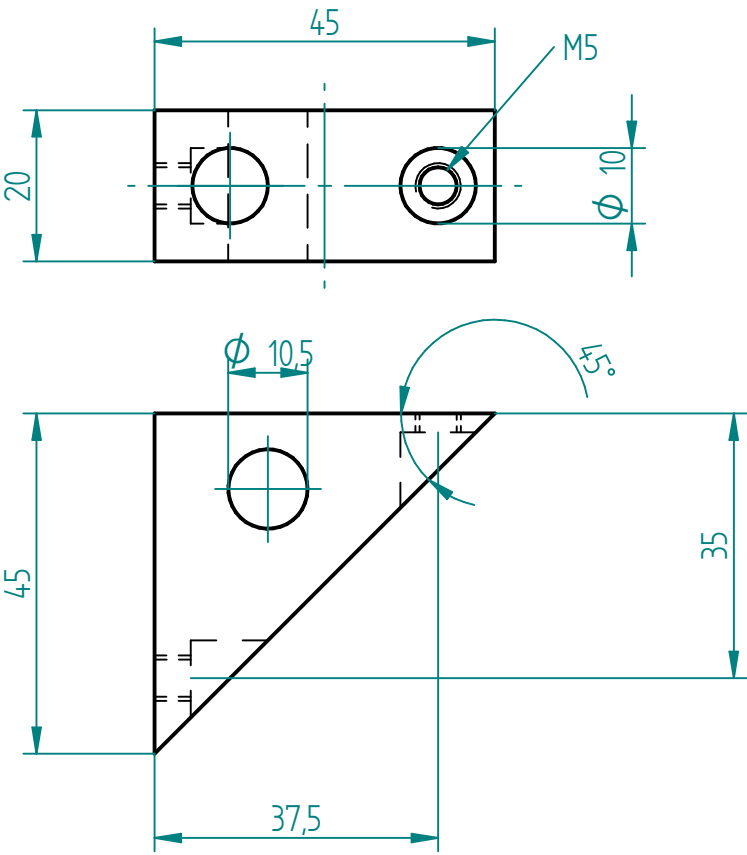
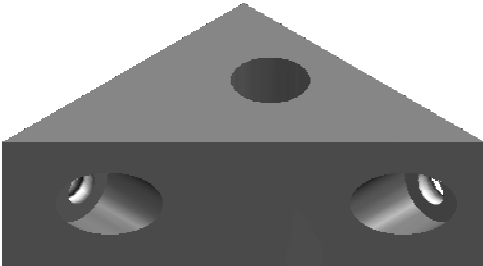

ESCALA: 1:1

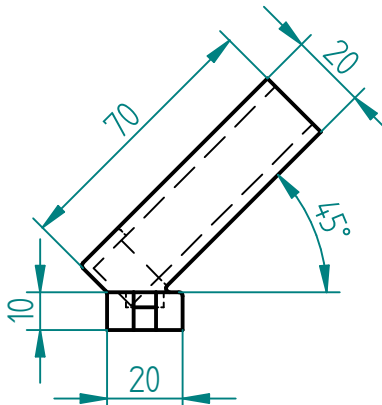
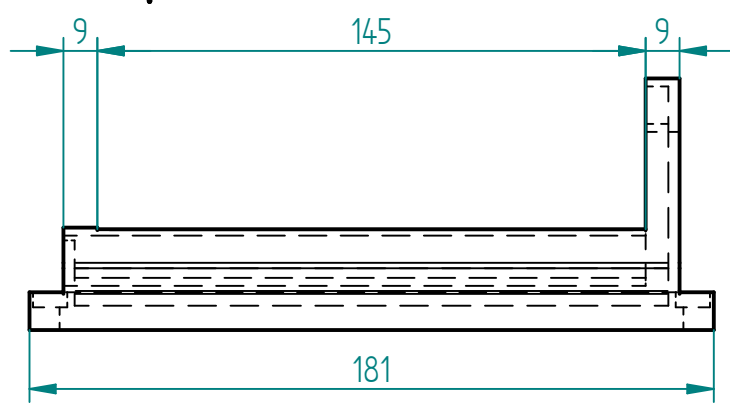
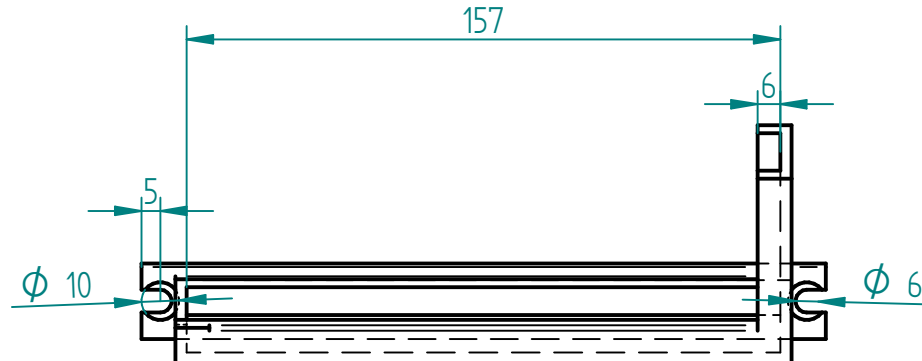
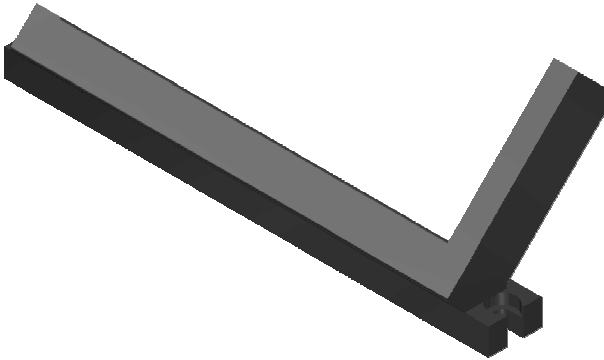

AUTOR:

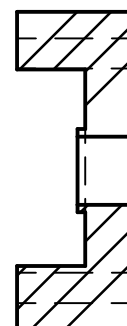
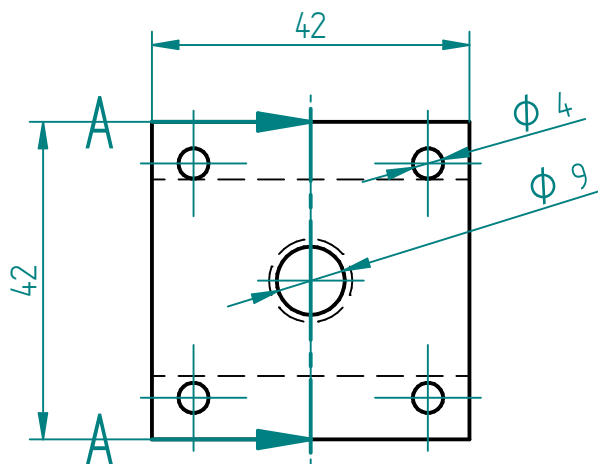
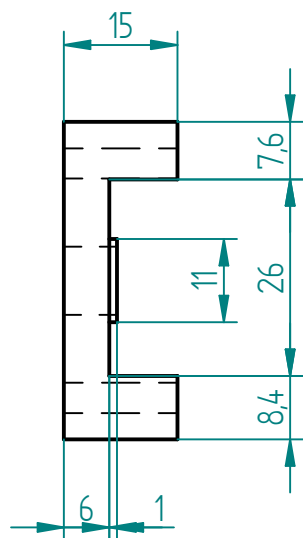
DAVID ARMADA PITA

FIRMA:

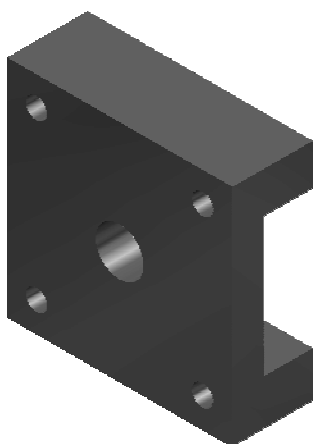
PLANO Nº: PI-011

1	2	3	4	
<div></div>				A
<div></div>				B
				C
				D
<div> UNIVERSIDADE DA CORUÑA GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA</div>		ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA		E
TÍTULO DEL TFG:		TFG Nº: 770G01A64		F
DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE. PROPUESTA E IMPLMETACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y MEJORAS ESTRUCTURALES.				
TÍTULO DEL PLANO:		FECHA: JUNIO-2015		
Esquina M10		ESCALA: 1:1		
AUTOR:		FIRMA:		
DAVID ARMADA PITA		PLANO Nº: PI-012		

1	2	3	4	
				A
				B
				C
				D
 ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA		TFG Nº: 770G01A64		E
TÍTULO DEL TFG: DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE. PROPUESTA E IMPLMETACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y MEJORAS ESTRUCTURALES.				
TÍTULO DEL PLANO: Soporte LCD		FECHA: JUNIO-2015		F
		ESCALA: 1:2		
AUTOR: DAVID ARMADA PITA		FIRMA: PLANO Nº: PI-013		



CORTE A-A



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

TFG Nº: 770G01A64

TÍTULO DEL TFG:

DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE. PROPUESTA E IMPLMETACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y MEJORAS ESTRUCTURALES.

TÍTULO DEL PLANO:

Cierre polea

FECHA: JUNIO-2015

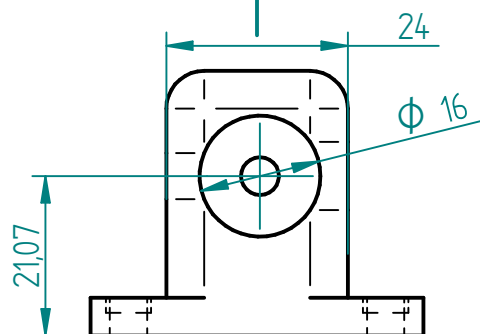
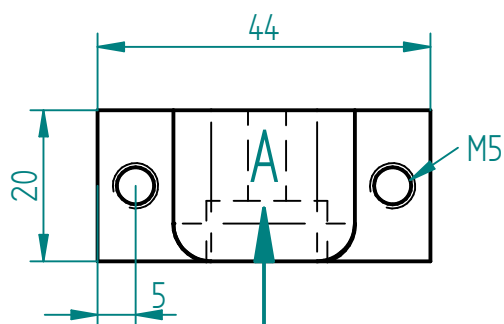
ESCALA: 1:1

AUTOR:

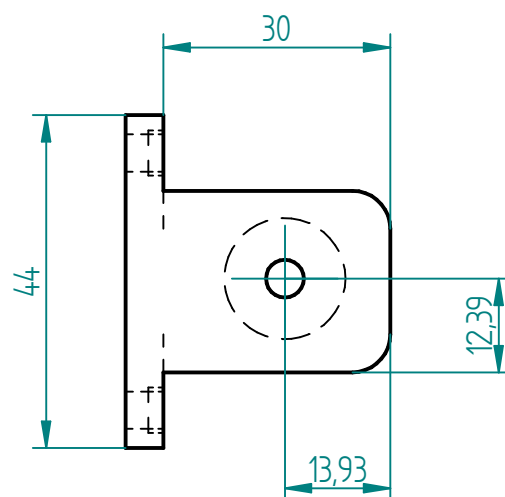
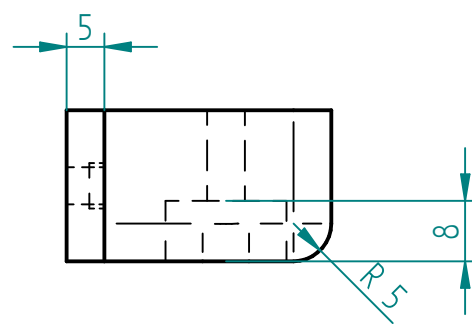
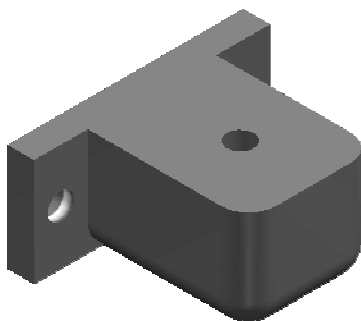
DAVID ARMADA PITA

FIRMA:

PLANO Nº: PI-014



VISTA A



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

TFG Nº: 770G01A64

TÍTULO DEL TFG:

DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE. PROPUESTA E IMPLMETACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y MEJORAS ESTRUCTURALES.

TÍTULO DEL PLANO:

Anclaje delantero

FECHA: JUNIO-2015

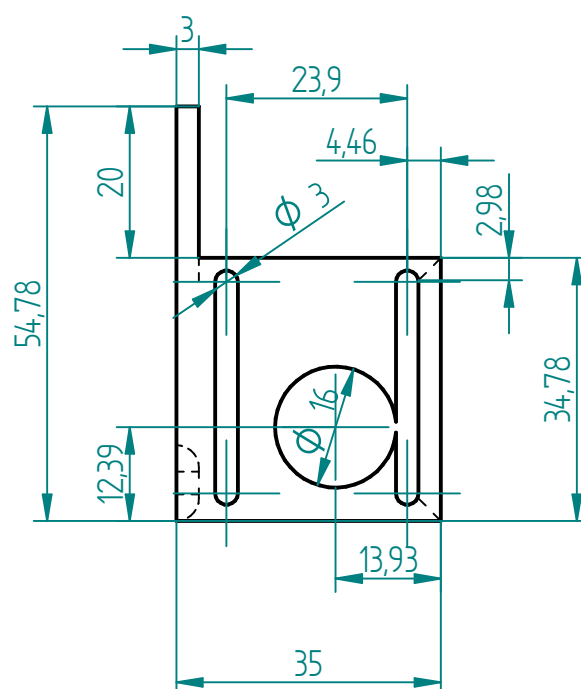
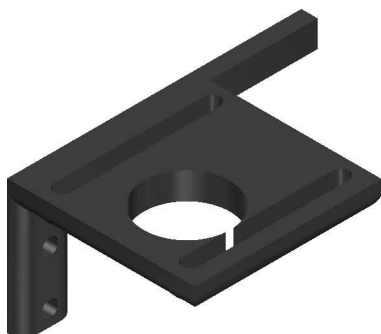
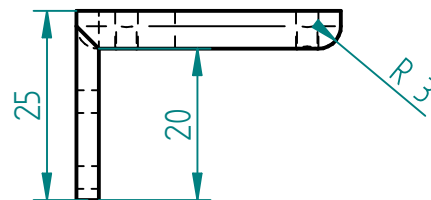
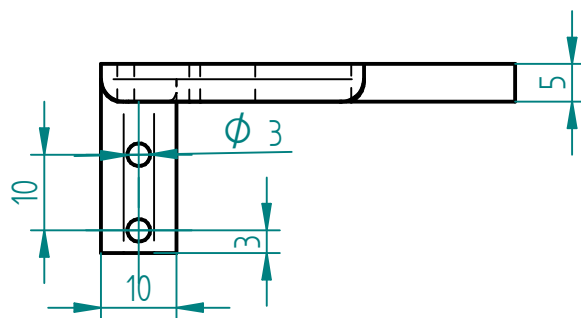
ESCALA: 1:1

AUTOR:

DAVID ARMADA PITA

FIRMA:

PLANO Nº: PI-015



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

TFG Nº: 770G01A64

TÍTULO DEL TFG:

DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE. PROPUESTA E IMPLMETACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y MEJORAS ESTRUCTURALES.

TÍTULO DEL PLANO:

Anclaje trasero

FECHA: JUNIO-2015

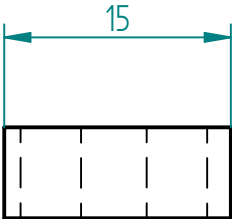
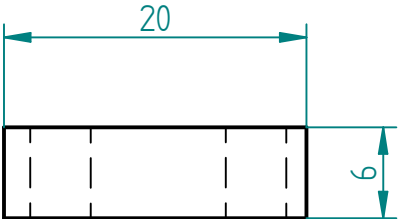
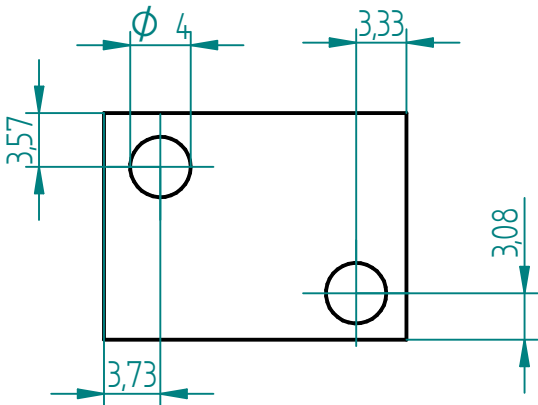
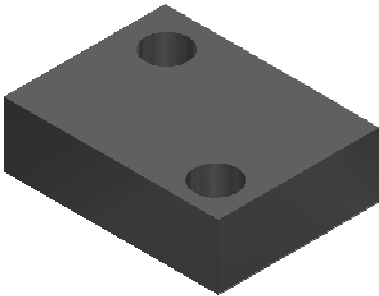

ESCALA: 1:1

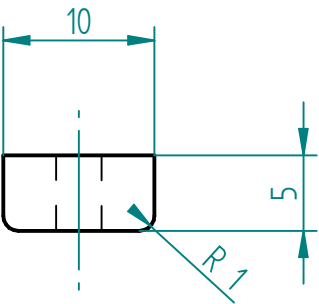
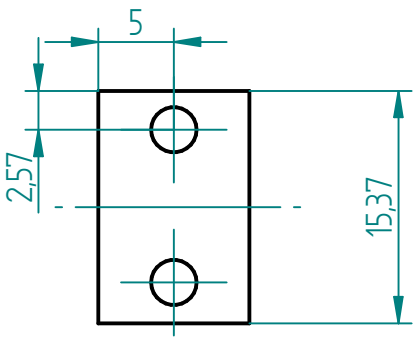
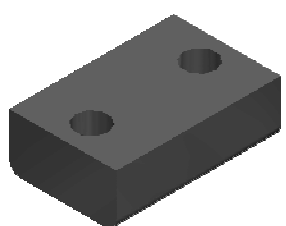
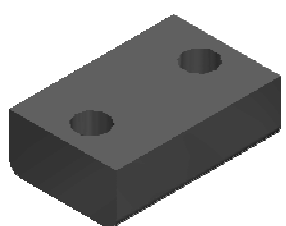

AUTOR:

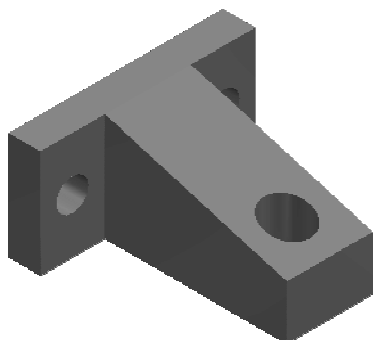
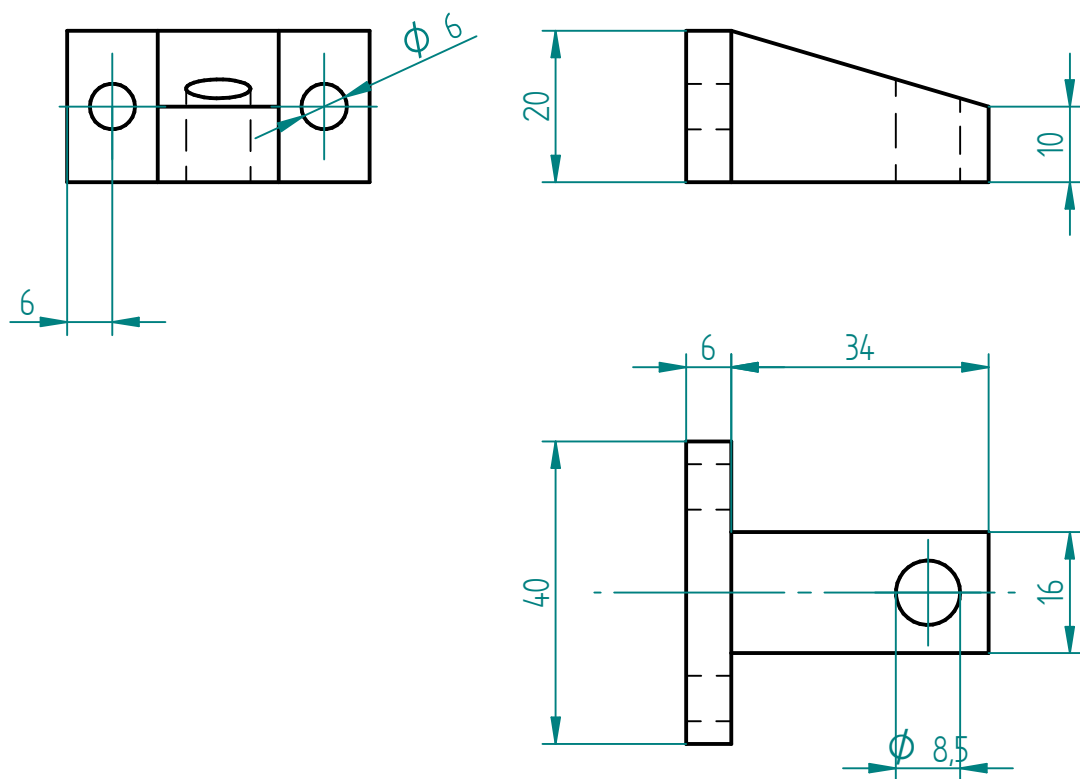
DAVID ARMADA PITA

FIRMA:

PLANO Nº: PI-016

1	2	3	4	
				A
				B
				C
				D
 UNIVERSIDADE DA CORUÑA GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA		ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA TFG Nº: 770G01A64		E
TÍTULO DEL TFG: DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE. PROPUESTA E IMPLMETACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y MEJORAS ESTRUCTURALES.				
TÍTULO DEL PLANO: Cierre correa X		FECHA: JUNIO-2015 ESCALA: 2:1		F
AUTOR: DAVID ARMADA PITA		FIRMA: PLANO Nº: PI-017		

1	2	3	4
			A
			B
			C
			D
 ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA UNIVERSIDADE DA CORUÑA GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA		TFG Nº: 770G01A64	E
TÍTULO DEL TFG: DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE. PROPUESTA E IMPLMETACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y MEJORAS ESTRUCTURALES.			
TÍTULO DEL PLANO: Cierre corea Y		FECHA: JUNIO-2015 ESCALA: 2:1	F
AUTOR: DAVID ARMADA PITA		FIRMA: PLANO Nº: PI-018	



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

TFG Nº: 770G01A64

TÍTULO DEL TFG:

DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE. PROPUESTA E IMPLMETACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y MEJORAS ESTRUCTURALES.

TÍTULO DEL PLANO:

Guía filamento

FECHA: JUNIO-2015

ESCALA: 1:1

AUTOR:

DAVID ARMADA PITA

FIRMA:

PLANO Nº: PI-019

1

2

3

4

A

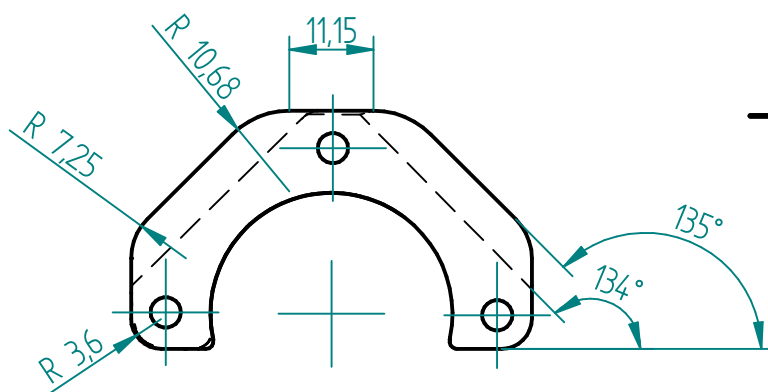
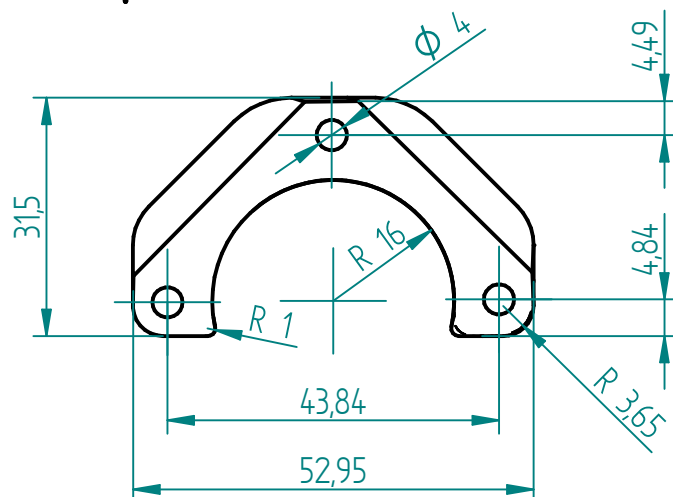
B

C

D

E

F



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

TFG Nº: 770G01A64

TÍTULO DEL TFG:

DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE. PROPUESTA E IMPLMETACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y MEJORAS ESTRUCTURALES.

TÍTULO DEL PLANO:

Separador eje Z

FECHA: JUNIO-2015

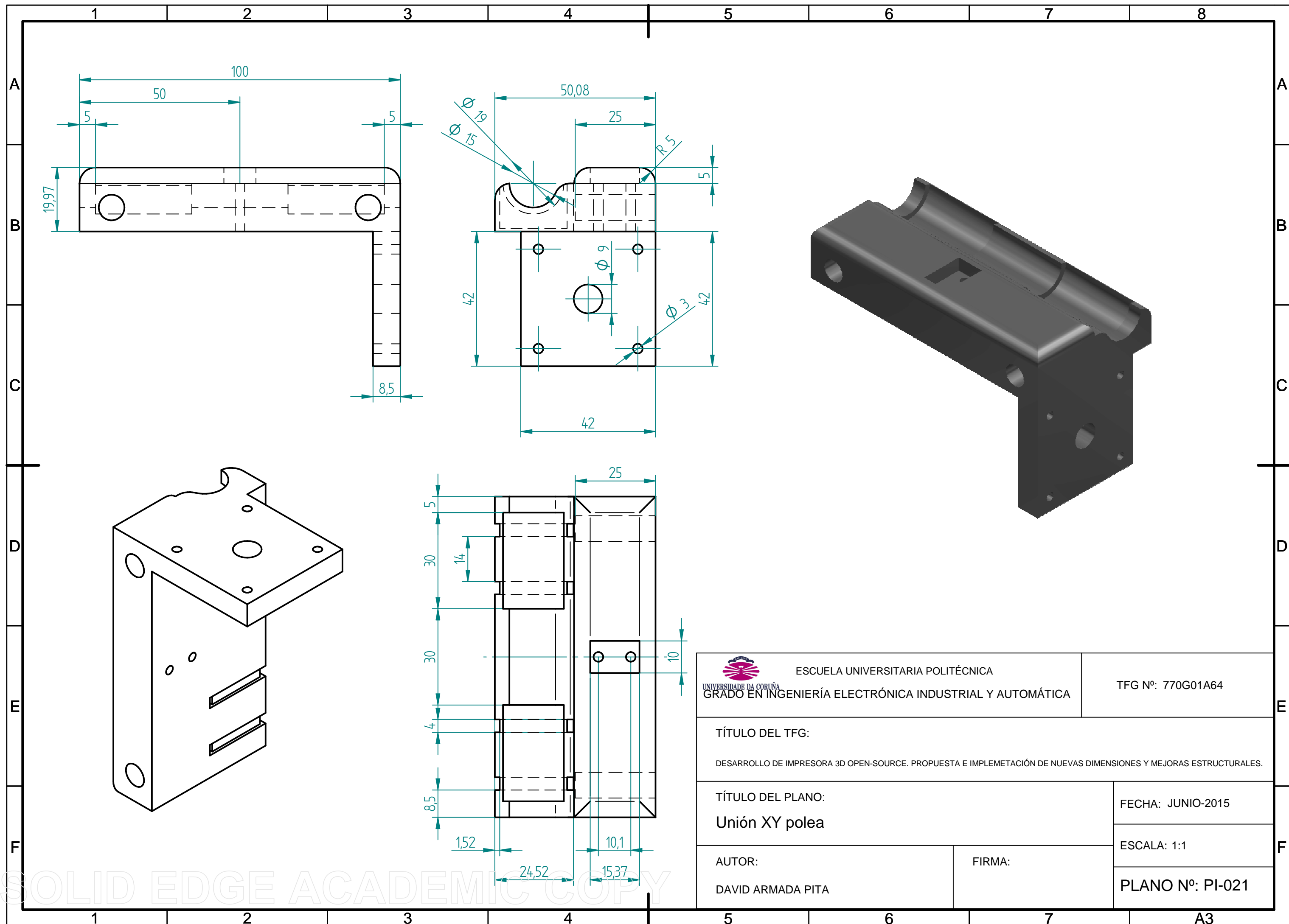
ESCALA: 1:1

AUTOR:

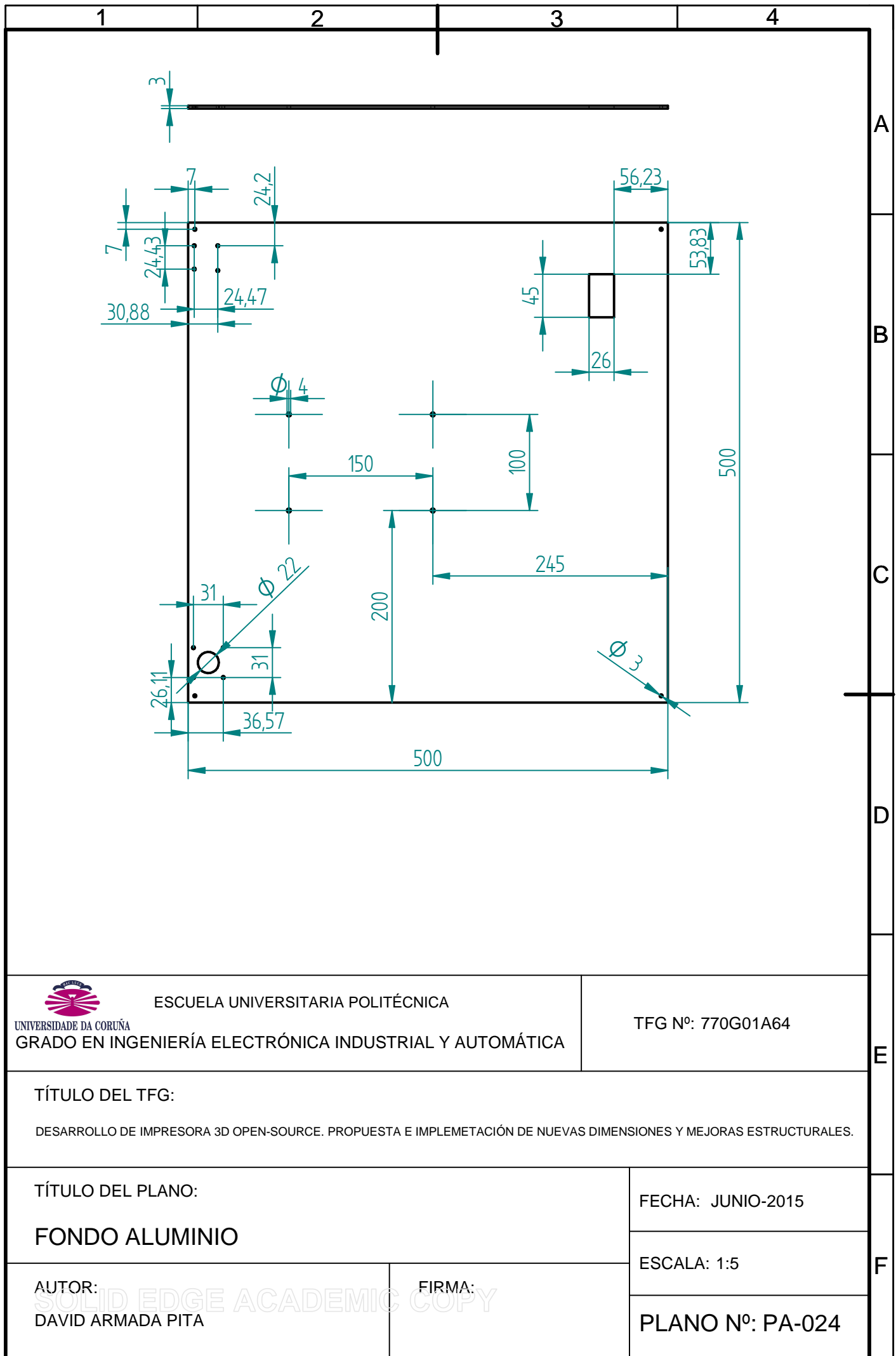
DAVID ARMADA PITA

FIRMA:

PLANO Nº: PI-020



1	2	3	4	
				A
				B
				C
				D
		ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA		E
TFG Nº: 770G01A64				
TÍTULO DEL TFG: DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE. PROPUESTA E IMPLMETACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y MEJORAS ESTRUCTURALES.				
TÍTULO DEL PLANO: Base aluminio			FECHA: JUNIO-2015	F
			ESCALA: 1:5	
AUTOR: DAVID ARMADA PITA		FIRMA:	PLANO Nº: PA-023	



**TÍTULO: DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE.
PROPUESTA E IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y
MEJORAS ESTRUCTURALES.**

PLIEGO DE CONDICIONES

**PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N
15405 - FERROL**

FECHA: JUNIO DE 2015

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: DAVID ARMADA PITA

INDICE PLIEGO DE CONDICIONES

	Páginas
5 PLIEGO DE CONDICIONES.....	148
5.1 Condiciones operativas del sistema.....	148
5.2 Condiciones del hardware.....	148
5.3 Condiciones del software	148
5.4 Condiciones de la garantía.....	149
5.5 Seguridad durante el montaje y el uso.....	149
5.6 Mantenimiento y consejos de uso	150

5 PLIEGO DE CONDICIONES

Se exponen a continuación las condiciones técnicas para que el objeto del TFG pueda materializarse en las condiciones especificadas, evitando posibles interpretaciones diferentes de las deseadas. No se considera necesario un pliego de condiciones administrativas en lo referente a la compra y manejo de materiales, en su defecto se ha utilizado las condiciones de compras de la Universidade de A Coruña (http://www.udc.es/normativa/xestion_economica).

5.1 Condiciones operativas del sistema

Para el correcto funcionamiento del sistema se tendrá en cuenta que la instalación del mismo deberá realizarse siguiendo las indicaciones que se especifican en el anexo de montaje y en el manual de uso.

5.2 Condiciones del hardware

La placa de desarrollo de hardware libre utilizada para el proyecto es un Arduino Mega 2560 con la última versión del firmware Marlin.

Las especificaciones de hardware necesarias para el PC vienen determinadas por el software utilizado: Arduino y Repetier Host.

5.3 Condiciones del software

El software utilizado para el presente proyecto es el siguiente:

Repetier Host v1.0.6: utilizado para la comunicación y el control de la impresora. Versiones disponibles para Windows, Linux y Mac.

Arduino v1.0.6: utilizado para modificar y cargar el firmware en la placa de desarrollo. Versiones disponibles para Windows, Linux y Mac.

5.4 Condiciones de la garantía

Se garantiza el material suministrado por un tiempo de dos años, siempre que el defecto se haya producido por condiciones ajenas al común desgaste temporal y de uso. Del mismo modo, se excluirá de la garantía todo elemento constitutivo del montaje que haya sido expuesto a condiciones de operación diferentes a las estipuladas en el conjunto de documentos básicos de este proyecto y en los manuales de uso de los fabricantes en el caso de haberlos.

El usuario se compromete a realizar un uso del sistema para los fines que fue concebido, y tendrá el deber de informar de cualquier cambio que se realice en él, siempre que comprometa la seguridad o interrumpa el funcionamiento normal del sistema de forma potencialmente peligrosa

5.5 Seguridad durante el montaje y el uso.

Se verificara que todos los montajes realizados antes de la puesta en funcionamiento son los correctos, se comprobara que los componentes utilizados cumplan las condiciones fijadas en este trabajo, que las placas de control utilizadas se encuentran limpias de polvo y no se aprecia deterioro en las pistas ni en sus componentes.

Durante la fabricación se recomienda a la hora de soldar tomar las medidas necesarias para evitar quemaduras. Además realizar las soldaduras en un ambiente de trabajo adecuado para ello.

Es muy importante no manipular la impresora cuando esté trabajando en una pieza. Las temperaturas del extrusor y de la cama caliente pueden superar los 100°C, se prohíbe tocar cualquiera de los dos componentes durante la impresión. Una vez terminada la impresión se recomienda esperar entre 15-20 minutos, dependiendo de la temperatura ambiente del lugar. Después se podrá retirar la pieza con seguridad y evitar quemaduras.

5.6 Mantenimiento y consejos de uso

La impresora 3D como toda máquina necesita un mantenimiento.

Es importante ir engrasando las varillas. La frecuencia de ello depende del ambiente en el que se situó la impresora y del uso, de todos modos y por seguridad se recomienda limpieza y engrasado mensual.

Antes de cada impresión debemos estar seguros de que la precisión del extrusor es de 0,1, esto es, asegurarse que la nivelación y calibración de los componentes está correcta. Debemos asegurarnos que el espejo está con una capa de laca para que el ABS se adhiera ya que la primera capa es la más crítica de toda la impresión.

Antes de cada impresión es aconsejable extruir manualmente entre 10 y 100mm para asegurarse de tener el extrusor libre de obstrucciones. Se aconseja situar el extrusor a unos 50mm del eje Z ya que al calentarlo cae filamento y si está en la posición de inicio este filamento se acumula en la punta del extrusor obstruyéndolo.

Se aconseja esperar a que la cama caliente se enfríe por debajo de los 30 °C antes de retirar cualquier pieza, ya que si lo intentamos a más temperatura puede romper la pieza.

No se aconseja imprimir a velocidades superiores de 80mm/s, ya que se pueden obtener malos acabados y resultados no satisfactorios.

Para impresiones largas tenemos que asegurarnos que el Arduino y la Ramps están refrigerados.

**TÍTULO: DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE.
PROPUESTA E IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y
MEJORAS ESTRUCTURALES.**

ESTADO DE MEDICIONES

**PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N
15405 - FERROL**

FECHA: JUNIO DE 2015

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: DAVID ARMADA PITA

INDICE ESTADO DE MEDICIONES





	Páginas
6 ESTADO DE MEDICIONES	154
6.1 Materiales.....	154
6.1.1 Estructura y mecánica	154
6.1.2 Electrónica.....	160
6.1.3 Fungibles.....	163
6.1.4 Piezas impresas	164
6.2 Mano de obra	169

6 ESTADO DE MEDICIONES

A continuación se describen los materiales utilizados y mano de obra necesaria para llevar a cabo el proyecto.

6.1 Materiales

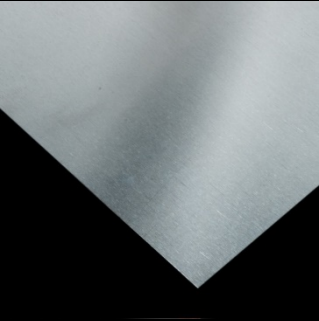




6.1.1 Estructura y mecánica


Estructura/Mecánica				
Ref.	Nombre	Imagen	Descripción	Unidades
ES-001	Acople Eje Z		Acople aluminio 5-8mm	2
ES-002	Poleas Gt2		Clase GT2 20 dientes	3
ES-003	Correas Gt2		Clase GT2 1M	3
ES-004	Tee Nuts (25U)		Anclaje estructura	4

Estructura/Mecánica				
Ref.	Nombre	Imagen	Descripción	Unidades
ES-005	Dual V Wheel Kit - Delrin		Pack Ruedas	8
ES-006	8mm Metric Lead Screw		Husillo trapezoidal Tr8x2.0	1 (m)
ES-007	Cast - 90° Corner		Unión esquinas estructura	28
ES-008	Inside Hidden Corner		Unión esquinas estructura con varilla lisa	4
ES-009	Threaded Rod Plate		Sujeción motor	2
ES-010	V-Slot Gantry Plate		Plato unión eje Z y Base	2

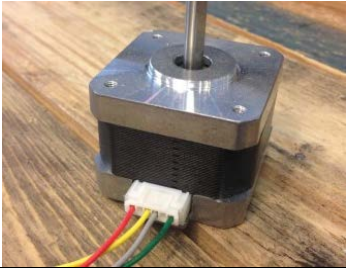


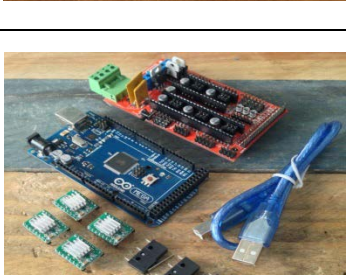

Estructura/Mecánica				
Ref.	Nombre	Imagen	Descripción	Unidades
ES-011	Lock Collar		Bloqueo husillo	2
ES-012	Slot Cover		Cubierta para cables 500mm	2
ES-013	V-Slot 20x20mm		Perfil aluminio guías negro 500mm	16
ES-014	V-Slot 20x60mm		Perfil Triple 1M	1
ES-015	688Z Ball Bearing - 8x16x5		Rodamiento 8x16x5 Eje Z Husillo	4
ES-016	625Z Ball Bearing - 5x16x5		Rodamiento 5x16x5 Correa eje X	3


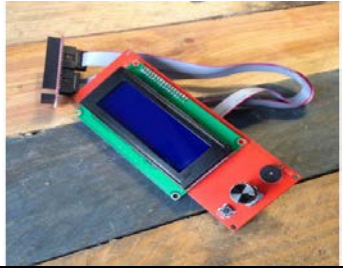



Estructura/Mecánica				
Ref.	Nombre	Imagen	Descripción	Unidades
ES-017	608Z Ball Bearing - 8x16x8		Rodamiento 8x16x8 Extrusor y correa eje Y	2
ES-018	Rodamientos M10		Rodamientos LM10UU	4
ES-019	Rodamientos M8		Rodamientos LM8UU	4
ES-020	Varilla Lisa M10 1M		Varilla Lisa M10 1M	3
ES-021	Varilla Lisa M8 1M		Varilla Lisa M8 1M	1
ES-022	8mm Acme Nut Block		Elemento Anclaje Base Eje Z	2

Estructura/Mecánica				
Ref.	Nombre	Imagen	Descripción	Unidades
ES-023	Aluminio 500x500x3mm		Fondo, base y parte trasera impresora	3
ES-024	Hobbed Pulley B		Polea dentada extrusión directa	1
ES-025	PLA 1Kg (1 Bobina)		Plástico para piezas impresas PP80%	0,8
ES-026	Guía filamento		Guía PTFE 1M	1
TORNILLERÍA				
ES-027	Low Profile Screws M5		8mm/25 Unidades	3
ES-028			10mm/25 Unidades	1

Estructura/Mecánica				
Ref.	Nombre	Imagen	Descripción	Unidades
ES-029	Tornillos cabeza hexagonal o Allen métrica		M5x20mm	2
ES-030			M5x40mm	8
ES-031			M8x30mm	1
ES-032			M3x6mm	4
ES-033			M3x10mm	12
ES-034			M3x20mm	6
ES-035			M3x25mm	4
ES-036			M3x35mm	4
ES-037			M3x45mm	6
ES-038			M4x25mm	4



6.1.2 Electrónica

Electrónica				
Ref.	Nombre	Imagen	Descripción	Unidades
EL-001	Motor Nema 17		SHD0404-22, cables incluidos	5
EL-002	Extrusor E3D 1.75mm		Extrusor metal bowden	1
EL-003	Pack Base Caliente		Pack completo base caliente. Incluye: - Base caliente MK2 - Espejo 20x20cm - Termistor NTC 100K - 4 Tornillos M3x20mm - 4 Muelles para base caliente - 2 Pinzas sujeción espejo.	1
EL-004	Pack Electrónica		Incluye: - Ramps 1.4 - Arduino Mega 2560 R3 - 4x Stepper drivers A4988 - 4x Disipadores - Cable USB impresora	1
EL-005	Fuente Alimentación		Fuente alimentación 12V 30A, 360W.	1

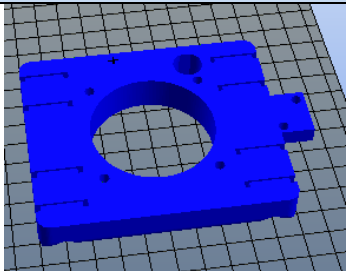
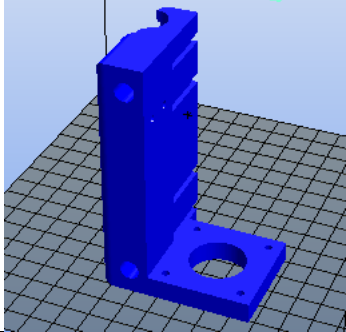
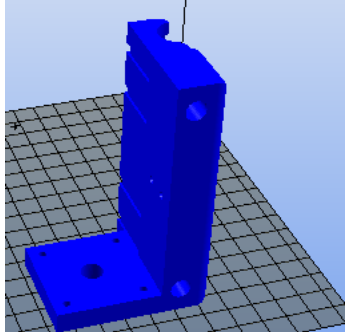
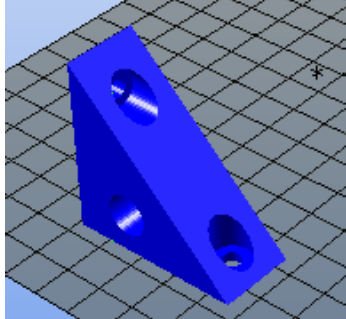
Electrónica				
Ref.	Nombre	Imagen	Descripción	Unidades
EL-006	Display Corriente		Display corriente y resistencia shunt	1
EL-007	LCD Ramps 1.4		Controlador Pantalla LCD para Ramps 1.4 Incluye: LCD controlador SD + Adaptador para Ramps 1.4 + 2x Cables de 30cm.	1
EL-008	Finales de carrera		Finales de carrera	4
EL-009	Ventilador 60x60		Ventilador electrónica	1
EL-010	Ventilador 40x40		Ventilador extrusor y capa	2

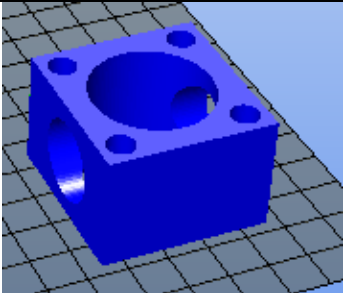
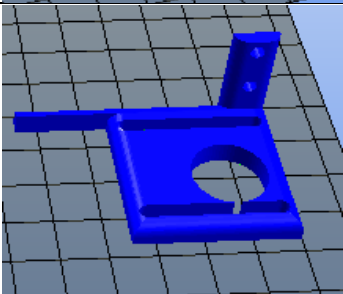
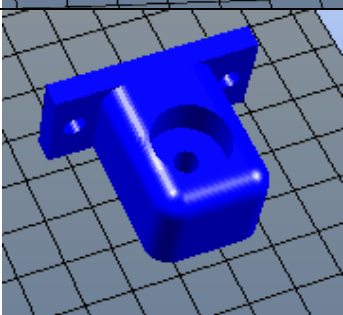
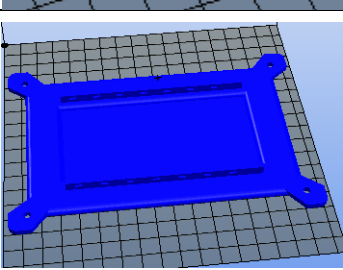
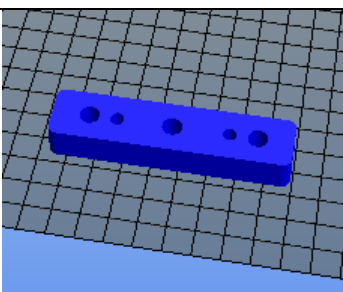
Electrónica				
Ref.	Nombre	Imagen	Descripción	Unidades
EL-011	Cable paralelo 1mm ²		Cable paralelo rojo/negro (m)	2
EL-012	Cable unifilar 028mm ²		Cable unifilar rojo (m)	6
EL-013	Cable unifilar 028mm ²		Cable unifilar negro (m)	6
EL-014	Interruptor		Interruptor general	1
EL-015	Conector alimentación		Conector hembra alimentación general	1

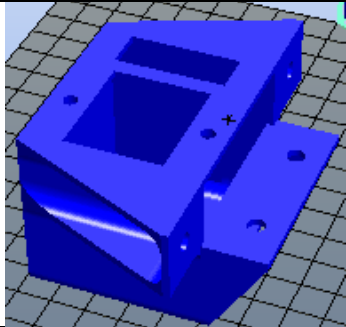
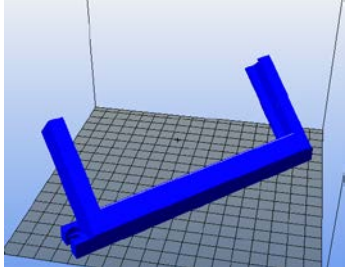
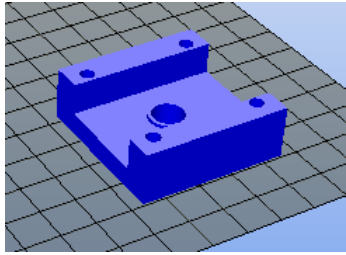
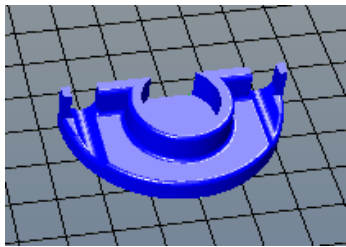
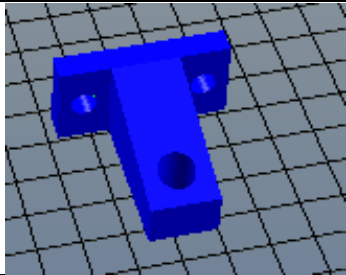
6.1.3 Fungibles

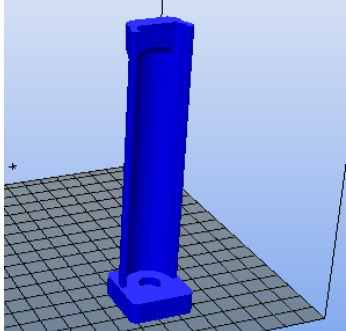
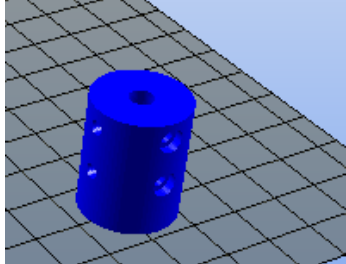
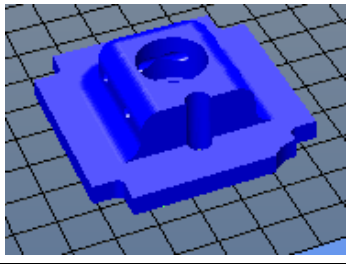
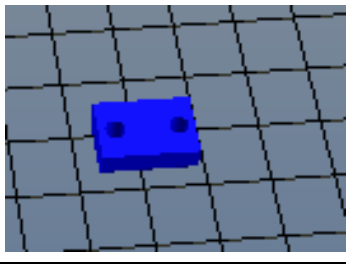
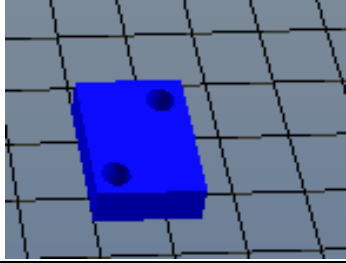
Fungibles				
Ref.	Nombre	Imagen	Descripción	Unidades
FU-001	PLA 1Kg (1 Bobina)		Filamento azul para pruebas de impresión	1
FU-002	ABS 1Kg (1 Bobina)		Filamento azul para pruebas de impresión	1
FU-003	ABS 1Kg (1 Bobina)		Filamento rojo para pruebas de impresión	1
FU-004	PLA 1Kg (1 Bobina)		Plástico para piezas impresas PP80%	0,2

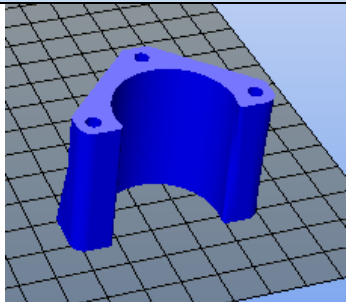
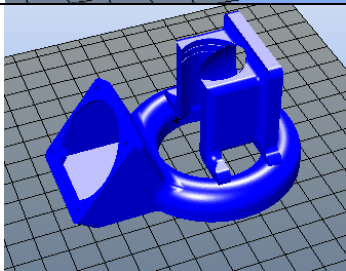
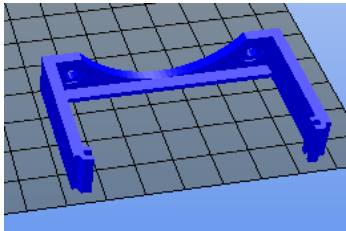
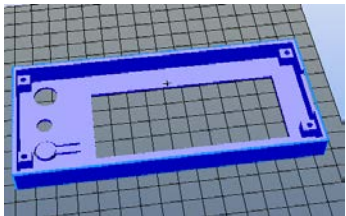
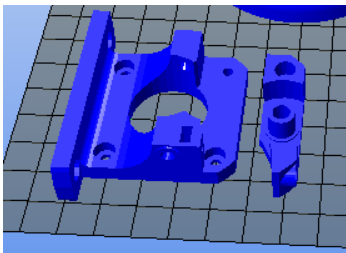
6.1.4 Piezas impresas

Piezas impresas				
Ref.	Nombre	Imagen	Descripción	Unidades
IM-001	Soporte Extrusor		Carro del eje Y, donde se sitúa el extrusor	1
IM-002	Unión XY		Unión trasera (motor) eje X y Y	1
IM-003	Unión XY delantera		Unión delantera del eje X e Y	1
IM-004	cierre2M10		Esquinas para unir las varillas de métrica 10	4

Piezas impresas				
Ref.	Nombre	Imagen	Descripción	Unidades
IM-005	Separador Motor		Separador para el motor del eje X	1
IM-006	Anclaje trasero X		Soporte para el rodamiento trasero del eje X	1
IM-007	Anclaje delantero X		Soporte para los rodamientos del eje X	2
IM-008	Soporte Arduino		Soporte para anclar la electrónica a la parte trasera.	1
IM-009	VSLOT Spacer Block		Separador para las ruedas del eje Z	4

Piezas impresas				
Ref.	Nombre	Imagen	Descripción	Unidades
IM-010	Soporte enchufe		Soporte para el enchufe y el interruptor	1
IM-011	Soporte LCD		Soporte para anclar el LCD a la estructura	1
IM-012	Cierre polea		Cierre para el rodamiento del eje Y	1
IM-013	Final husillo		Bloqueo aluminio inferior y final de husillo	2
IM-014	Soporte guía filamento		Soporte para el racor de la guía del filamento	1

Piezas impresas				
Ref.	Nombre	Imagen	Descripción	Unidades
IM-015	Porta bobina		Soporte para anclar la bobina a la estructura	1
IM-016	Acople motor eje X		Acople para motor del eje X	1
IM-017	Extrusor unión		Unión extrusor simple a carro eje Y	1
IM-018	Bloqueo correa Y		Bloqueo o cierre correa eje Y	2
IM-019	Bloqueo correa		Bloqueo o cierre correa eje X	1

Piezas impresas				
Ref.	Nombre	Imagen	Descripción	Unidades
IM-020	Separador Z		Separador motores eje Z	2
IM-021	E3D Fan		Soporte ventilador de capa y extrusor, compatible E3D	1
IM-022	Soporte ventilador electrónica		Soporte para ventilador 60x60, compatible con RAMPS	2
IM-023	Smart Controller		Caratula LCD	1
IM-024	Compact direct drive		Soporte motor extrusor de tipo bowden.	1

6.2 Mano de obra

Nombre	Descripción	Unidades
Diseño	Horas empleadas en el diseño digital, incluye impresión de partes	320
Mecanizado	Horas empleadas en el mecanizado	6
Ensamblado	Horas empleadas en el montaje real	14
Pruebas y ajustes	Horas dedicadas a la puesta en marcha	20

**TÍTULO: DESARROLLO DE IMPRESORA 3D OPEN-SOURCE.
PROPUESTA E IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS DIMENSIONES Y
MEJORAS ESTRUCTURALES.**

PRESUPUESTO

**PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N
15405 - FERROL**

FECHA: JUNIO DE 2015

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: DAVID ARMADA PITA

INDICE PRESUPUESTO

	Páginas
7 PRESUPUESTO	172
7.1 Materiales.....	172
7.1.1 Estructura y mecánica	172
7.1.2 Electrónica.....	174
7.1.3 Fungibles.....	175
7.1.4 Total Material.....	175
7.2 Mano de obra	176
7.3 Total	177

7 PRESUPUESTO

7.1 Materiales

7.1.1 Estructura y mecánica

Estructura/Mecánica					
Ref.	Nombre	Descripción	Unidades	Precio/U sin IVA	Precio Total sin IVA
ES-001	Acople Eje Z	Acople aluminio 5-8mm	2	3,08 €	6,16 €
ES-002	Poleas Gt2	Clase GT2 20 dientes	3	2,77 €	8,30 €
ES-003	Correa Gt2	Clase GT2 1M	3	2,37 €	7,11 €
ES-004	Tee Nuts (25U)	Anclaje estructura	4	3,13 €	12,51 €
ES-005	Dual V Wheel Kit - Delrin	Pack Rueda	8	2,43 €	19,47 €
ES-006	8mm Metric Lead Screw	Husillo trapezoidal Tr8x2.0 (M)	1	16,58 €	16,58 €
ES-007	Cast - 90º Corner	Unión perfiles estructura	28	0,95 €	26,55 €
ES-008	Inside Hidden Corner	Unión interior perfiles estructura	4	1,44 €	5,76 €
ES-009	Threaded Rod Plate	Sujeción motor	2	4,38 €	8,77 €
ES-010	V-Slot Gantry Plate	Plato unión eje Z y Base	2	7,58 €	15,15 €
ES-011	Lock Collar	Bloqueo husillo	2	0,70 €	1,39 €
ES-012	Slot Cover	Cubierta para cables 500mm	2	1,90 €	3,79 €
ES-013	V-Slot 20x20mm	Perfil aluminio guías negro	16	3,84 €	61,43 €
ES-014	V-Slot 20x60mm	Perfil Triple 1M	1	10,83 €	10,83 €
ES-015	688ZZ Rodamiento	Rodamiento 8x16x5 Eje Z Husillo	4	0,63 €	2,53 €
ES-016	625ZZ Rodamiento	Rodamiento 5x16x5 Correa eje X	3	1,58 €	4,74 €

ES-017	608ZZ Rodamiento	Rodamiento 8x16x8 Extrusor y correa eje Y	2	1,58 €	3,16 €
ES-018	Rodamientos Linear M10	Rodamientos LM10UU	4	1,19 €	4,74 €
ES-019	Rodamientos Linear M8	Rodamientos LM8UU	4	0,87 €	3,48 €
ES-020	Varilla Lisa M10 1M	Varilla Lisa M10 1M	3	3,95 €	11,85 €
ES-021	Varilla Lisa M8 1M	Varilla Lisa M8 1M	1	3,16 €	3,16 €
ES-022	8mm Acme Nut Block	Elemento Anclaje Base Eje Z	2	4,38 €	8,77 €
ES-023	Aluminio 500x500x3mm	Fondo, base y parte trasera impresora	3	7,90 €	23,70 €
ES-024	Hobbed Pulley B	Polea dentada extrusión directa	1	7,74 €	7,74 €
ES-025	PLA 1Kg (1 Bobina)	Plástico para piezas impresas PP80%	0,8	15,76 €	12,61 €
ES-026	Guía filamento	Guía PTFE 1M	1	2,37 €	2,37 €
TORNILLERÍA					
ES-027	Low Profile Screws M5	6mm/25U	3	2,53 €	7,58
ES-028	Low Profile Screws M5	10mm/25U	1	2,84 €	2,84
ES-029	M5x20mm	Tornillos cierre correa Y	2	0,16 €	0,32
ES-030	M5x40mm	Tornillos para las ruedas	8	0,18 €	1,45
ES-031	M8x30mm	Tornillos correa eje Y y motor extrusor	1	0,15 €	0,15
ES-032	M3x6mm	Tornillos fuente de alimentación	4	0,02 €	0,09
ES-033	M3x10mm	Tornillos soporte Arduino, eje X y motor Y	12	0,03 €	0,38
ES-034	M3x20mm	Tornillos cierre polea eje Y y resistencia shunt	6	0,04 €	0,24
ES-035	M3x25mm	Tornillos cierre correa X	4	0,05 €	0,19
ES-036	M3x35mm	Tornillos motor eje X	4	0,06 €	0,25
ES-037	M3x45mm	Tornillos separador motor Z	6	0,08 €	0,47
ES-038	M4x25mm	Tornillos adaptador extrusor	4	0,10 €	0,41
Total Estructura/Mecánica					307,03 €

7.1.2 Electrónica

Electrónica					
Ref.	Nombre	Descripción	Unidades	Precio/U sin IVA	Precio Total sin IVA
EL-001	Motor Nema 17	Mod. SHD0404-22, cables incluidos	5	9,48 €	47,40 €
EL-002	Extrusor E3D 1.75mm	Extrusor metal bowden	1	54,51 €	54,51 €
EL-003	Pack Base Caliente	Cama, cristal	1	17,38 €	17,38 €
EL-004	Pack Electrónica	Arduino Mega, Ramps 1.4, Variadores A4988	1	67,94 €	67,94 €
EL-005	Fuente Alimentación	FA 12V 30A	1	19,67 €	19,67 €
EL-006	Display Corriente	Display corriente y resistencia shunt	1	3,95 €	3,95 €
EL-007	LCD Ramps 1.4	Pantalla Lcd	1	19,74 €	19,74 €
EL-008	Finales de carrera	Finales de carrera	4	0,63 €	2,53 €
EL-009	Ventilador 60x60	Ventilador electrónica	1	2,77 €	2,77 €
EL-010	Ventilador 40x40	Ventilador extrusor y capa	2	1,98 €	3,95 €
EL-011	Cable paralelo 1mm ²	Cable paralelo rojo/negro (m)	2	0,40 €	0,81 €
EL-012	Cable unifilar 028mm ²	Cable unifilar rojo (m)	6	0,09 €	0,57 €
EL-013	Cable unifilar 028mm ²	Cable unifilar negro (m)	6	0,09 €	0,57 €
EL-014	Interruptor	Interruptor general	1	1,11 €	1,11 €
EL-015	Conector alimentación	Conector hembra alimentación general	1	0,79 €	0,79 €
Total Electrónica					243,68 €

7.1.3 Fungibles

Fungibles					
Ref.	Nombre	Descripción	Unidades	Precio/U sin IVA	Precio Total sin IVA
FU-001	PLA 1Kg (1 Bobina)	Filamento azul para pruebas de impresión	1	15,76 €	15,76 €
FU-002	ABS 1Kg (1 Bobina)	Filamento azul para pruebas de impresión	1	15,76 €	15,76 €
FU-003	ABS 1Kg (1 Bobina)	Filamento rojo pruebas de impresión	1	15,76 €	15,76 €
FU-004	PLA 1Kg (1 Bobina)	Filamento rojo pruebas de impresión PP20%	0,2	15,76 €	3,15 €
Total Fungibles					50,43 €

7.1.4 Total Material

Total Estructura/Mecánica	306,08 €
Total Electrónica	243,68 €
Total Fungibles	50,43 €
TOTAL MATERIAL sin IVA	601,14 €

7.2 Mano de obra

Diseño					
Ref.	Nombre	Descripción	Unidades	Precio/U sin IVA	Precio Total sin IVA
	Diseño	Horas empleadas en el diseño digital, incluye impresión de partes	320	30,00 €	9.600,00 €
Total Diseño					9.600,00 €
Mecanizado y Ensamblado					
Ref.	Nombre	Descripción	Unidades	Precio/U sin IVA	Precio Total sin IVA
	Mecanizado	Horas empleadas en el mecanizado	6	15,00 €	90,00 €
	Ensamblado	Horas empleadas en el montaje real	14	15,00 €	210,00 €
Total Mecanizado y Ensamblado					300,00 €
Pruebas y Ajustes					
Ref.	Nombre	Descripción	Unidades	Precio/U sin IVA	Precio Total sin IVA
	Pruebas y ajustes	Horas dedicadas a la puesta en marcha	20	15,00 €	300,00 €
Total Pruebas y Ajustes					300,00 €
TOTAL MANO DE OBRA sin IVA					10.200,00 €

7.3 Total

TOTAL MATERIAL sin IVA	601,14 €
TOTAL MANO DE OBRA sin IVA	10.200,00 €

TOTAL MATERIALES Y MANO DE OBRA sin IVA	10.801,14 €
GASTOS GENERALES (13%)	12.205,28 €
BENEFICIO INDUSTRIAL (6%)	12.937,60 €
TOTAL con IVA (21%)	15.654,50 €